

ISSN 1404-2983

Report 1002
Lund 2000

Integrerad regional riskbedömning och riskhantering

L U C R A M

Lund University Centre for Risk Analysis and Management

**Jerry Nilsson
Sven Erik Magnusson (projektledare)
Per-Olof Hallin
Bo Lenntorp**

Abstract

The purpose of this study is to make a review of the topic *Integrated Regional Risk Assessment and Safety Management, IRRASM*. The idea of an integrated regional approach is to get a better overview of the whole risk situation in a specific region than what is possible when applying a traditional object-orientated procedure.

The integrated, regional methodology should be particularly significant since the awareness of risks on a society basis has increased over the last years, nationally and internationally. In Sweden for instance, The Agency for Civil Emergency Planning, ÖCB, has strongly supported a more robust society. A link is therefore established in the report between IRRASM and the concept of a robust society, as defined by ÖCB.

IRRASM is mainly a framework, promoting the use and integration of several methods and tools to establish a concise picture of the risks in a region. In the report a review is being made on techniques and tools that may be appropriate to use in an integrated regional risk assessment study. Main focus is on vulnerability analysis, adopting system-thinking, decision-aiding techniques based on multi criteria analysis and GIS combined with various risk-analysis models to calculate and illustrate risks from various hazardous discharges in a region.

A minor survey is also made considering where, and in what areas, IRRASM-approaches have been implemented. The main result of the study is that the integrative regional approach seems to be highly appropriate for assessing the risks on a society basis. However, the findings in the report still raise many questions in need of answers. Therefore some suggestions for further studies are made.

Summary

The society of today is becoming more and more complex due to a continuous and extended integration of various systems and functions. This implies a strong interdependence between the different parts of the society. What happens in one place will have effects in other areas as well (geographically and functionally). From a “risk-point-of view” this means that it may be difficult to assess the extension of different risks from their origin place and also very difficult to predict them. This calls for a holistic approach when assessing risks. The traditional way to analyse and evaluate risks is to focus on a single object. As a response to this (too) narrow approach when dealing with risks in different areas, efforts are made to include various factors and aspects relevant for determining the risk on a broad base. Gheorghe et al (1995) have developed a framework called IRRASM, “Integrated Regional Risk Assessment and Safety Management”, which roughly may be described as a comprehensive guideline for assessing risks in larger industrial areas.

The purpose of this report is to more closely examine IRRASM and other methods, models and tools employing a regional and integrative approach to deal with risks. A special interest has been taken in methods that are linked to the ideas of a robust society (as it is defined by, “The Agency for Civil Emergency Planning, ÖCB”).

In the first part of the report some basic definitions of risk are presented as well as some different perspectives of the concept. Then follows a description of the traditional way of making a risk analysis (i.e. the object orientated method), focusing on health, safety and environment related issues. Some qualitative and quantitative methods are presented. The subject of risk evaluation and risk reduction activities is also briefly accounted for.

After the introduction, a more thorough review of IRRASM is given. IRRASM originates from two other projects. One is the “*Inter-Agency Programme on the Assessment and Management of Health and Environmental Risks from Energy and Other Complex Industrial Systems*” initiated in 1986 by IAEA, UNEP, APELL, UNIDO and WHO. The second is the “*Polyproject on Risk and Safety of Technical Systems*” initiated by The Swiss Federal Institute of Technology in Zürich. Gheorghe and Nicolet-Monnier have subsequently based their work on IRRASM on these two projects.

IRRASM is mainly a framework, promoting the use and integration of several methods, tools and perspectives to establish a concise assessment of the risks in a region. The idea is to include in the analysis all relevant risk objects and all stakeholders with an interest in the problem (i.e. a people owning the problem or being affected by it). The IRRASM-guideline emphasises the importance of including knowledge from many different scientific disciplines (experts) as well as the public view in the process.

In the report a review is made on techniques and tools that may be appropriate to use within the IRRASM-framework. Three areas are especially notable;

- Vulnerability analysis.
- Decision-aiding techniques based on multi criteria analysis.
- GIS combined with various risk-analysis models to calculate and illustrate risks

The vulnerability analysis is based on system thinking and attempts to answer the question of the survival capability of the system (its robust and resilient) when considering the threats it is

facing. Focus is on what resources are at hand to reduce damage from accidents originating inside or outside the system. In the report some scenario-based guidelines are presented.

An important area when dealing with risks in a complex environment is how to make best possible decisions (i.e. the alternative that best take in consideration the different criterions). In the report an overview is made on “Multi Criteria Decisionmaking, MCDM” and how it can be integrated with “Spatial Decision support Systems, SDSS” in order to help a (non-expert) decision maker to come up with best possible solution in a region characterised of conflicting interests.

Explicitly treating risk as a spatial (regional) problem requires the use of tools to easily and effectively analyse and present the risk-situation and its geographical dimensions. Geographic informationsystem, GIS, may be regarded as a universal tool within the field of risk assessment and risk management. GIS can be used on its own or integrated with other methods, tools or techniques, e.g. MCDM and SDSS. GIS is often combined with various risk-analysis models to calculate and illustrate risks, e.g. from various hazardous discharges in a region. Furthermore GIS is a central tool when it comes to operational risk management, i.e. dealing with risks as they happen in real time. When integrating GIS with GPS-technique and remote sensing the potential in vulnerability and risk management could be very significant.

The regional integrative approach on risk has above all had an impact in two areas; assessing risks from discharges of hazardous substances and methods aiming to integrate all actors affected by a risk related problem when making decisions how to deal with it. In both cases GIS, MCD, SDSS and Internet are used in combinations to a wide extent.

When examining in which countries it is possible to find traces of the integrative regional risk approach, Western Europe (e.g. Holland, Switzerland, Sweden, Norway and Iceland) and USA stand out. However the trends of making comprehensive risk analyses and risk assessments seems to be worldwide. Due to limited resources it has not been possible to make a comprehensive worldwide overview on this issue. A similar outlook of the subject in Sweden reveals that the same tendency seems to be found here as well. A number of authorities and researchers have a part in this process.

The most important conclusions are:

- The integrative and regional approach gives better and more accurate results when dealing with risks in larger industrialised areas.
- IRRASM is a framework promoting the use of a multitude of methods, models, techniques and tools when assessing and managing risks. It exists a number of methods, models and techniques suitable to include in an integrative regional risk analysis. When combined in various constellations they create new and powerful conditions for assessing and managing risks.
- A multidisciplinary approach when dealing with risks ought to raise the probability that the risks are considered from a number of important viewpoints. Thus eventually leading to a better public acceptance of riskrelated activities in the society.

Sammanfattning

Det moderna samhället kännetecknas av ett ökande antal risker som ger vitt skilda konsekvenser i tid och rum. Gheorge & Nicolet-Monnier (1995) menar, liksom många andra, att vi befinner oss i en ny risksituation där riskerna blivit mycket komplexa och svåra att förutsäga. Många av samhällets funktioner och system är integrerade med varandra vilket innebär att en händelse kan spridas långt, såväl geografiskt som verksamhetsmässigt. Det blir allt mer tydligt att de traditionellt objektbetonade sätten att hantera risker på inte räcker till för att få ett grepp om risksituationen i ett samhälle utan att det krävs en metodutveckling av nya tillvägagångssätt där en integrativ risksyn är det centrala elementet.

Som ett svar på den alltmer komplexa risksituationen i större industrialiserade områden och det allt mer uppenbara behovet av att mäta och hantera den totala risksituationen har flera projekt initierats med syfte att utveckla en integrativ risksyn. Utgångspunkten för undersökningarna har varit regionen istället för objektet. IRRASM, Integrated Regional Risk Assessment and Safety Management har trätt fram som ett samlande begrepp för hur man kan utföra integrerade och rumsbaserade riskbedömningar och kan ses som ett mjukt ramverk, en vägledning, med råd om hur man genomför en integrativ regional ansats.

Syftet med föreliggande rapport har varit att kvalitativt göra en litteratursammanställning över IRRASM och de integrativa och regionala ansatser för att bedöma och hantera risker som kan samlas under begreppet. Detta har gjorts med utgångspunkt på relevansen för ett mer robust och resilient samhälle så som det utvecklats av bl a Överstyrelsen för civil beredskap, ÖCB. Det robusta samhället karakteriseras av att samhällets alla dimensioner (ekologiska, sociala, tekniska och ekonomiska) är väl utvecklade och tål en större påfrestning. Strävan efter det robusta samhället kräver en metodik som kan ta ett helhetsgrepp för att bedöma och hantera riskerna. Kopplingen till IRRASM är tydlig.

Som en bakgrund till det integrativa regionala synsättet på risk redogörs för den utveckling som skett inom området riskhantering. Längre har det tekniska perspektivet varit det vetenskapligt accepterade och dominerande. Enligt detta synsätt är risk en sammanvägning mellan sannolikhet och konsekvens för att en viss (oftast oönskad) skadlig händelse skall inträffa. Det samhällsvetenskapliga synsättet inkluderar en mer nyanserad bild av riskbegreppet och förespråkar att kvalitativa, subjektiva, egenskaper hos den skadliga händelsen bör influera i vilken mån den är att betrakta som en (stor eller liten) risk. Undersökningar har visat på att faktorer som frivillighet för att utsätta sig för risk, vilken kontroll och erfarenhet man har av risken, etc har stor betydelse för den individuella riskuppfattningen. En översikt görs över några sådana faktorer och på vilket sätt det samhällsvetenskapliga betraktelsesättet kan berika riskbegreppet.

Vad som avses med en integrativ riskbedömning är inte självklart. Det finns inget entydigt svar på vad en integrativ riskstudie skall innehålla. Begreppet integrativ kan beteckna att man väljer att se till flera riskkällor samtidigt, integrerar olika modeller och verktyg med varandra, beaktar flera aktörer med ett intresse i en riskfråga eller utvärdera samverkansmöjligheter över myndighetsgränser. Det finns flera andra möjligheter.

I rapporten redogörs för två större projekt som har banat vägen för IRRASM. Det första är *The Inter-Agency Programme on the Assessment and management of Health and Environmental Risks from Energy and Other Complex Industrial Systems* som initierades 1986 av IAEA, UNEP, APELL, UNIDO och WHO. I denna utvecklas en metodik för att göra integra-

tiva riskbedömningar i en större industrialiserad region. En översyn görs av olika bedömningsmetoder för punktvisa utsläpp, transport av farligt gods, den organisatoriska strukturen etc. Det andra projektet, *The Polyproject on Risk and Safety of Technical Systems*, drogs igång av The Swiss Federal Institute of Technology i Zürich. Resultatet av projektet blev en handledning av rådgivande karaktär för hur en integrativ regional riskbedömning bör genomföras.

Medarbetare i de båda ovan nämnda projekten var bl a professor Adrian V Gheorghe vid ETH, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich. Tillsammans med Michel Nicolet-Monnier, också han engagerad i arbetet med integrativa riskstudier för större industrialiserade regioner, har Gheorghe lanserat IRRASM, Integrated Regional Risk Assessment and Safety/(Hazard) Management som ett ramverk för samlad riskbedömning i sådana områden.

En IRRASM-studie kretsar kring riskbilden i ett avgränsat större område och syftar till att försöka ge en så samlad och signifikant bild av risksituationen i ett område som möjligt. IRRASM är endast en övergripande strategi och vägledning för hur olika metoder kan användas för att ge en samlad bedömning av riskerna. I rapporten presenteras en översikt över några metoder, modeller och verktyg som skulle kunna ingå i en IRRASM-studie. Framför allt kan tre områden nämnas:

- Sårbarhetsanalyser
- Beslutsmetoder baserade på multikriteriemetoder och/eller i kombination med
- GIS för att åskådliggöra och beräkna risker

Sårbarhetsanalysen är en utveckling av riskanalysen men skiljer sig på flera punkter. Medan riskanalysen främst ser till händelser inom ett systems fysiska gränser arbetar sårbarhetsanalysen med en öppen systemmodell och beaktar såväl interna som externa konsekvenser. Särskilt intresse riktas på systemets överlevnadsförmåga och därför betonas i högre grad än vad som är brukligt i en riskanalys, skadereducerande faktorer. Sårbarhetsanalysen anlägger också ett långt tidsperspektiv och fokuserar på ett förlopp från det att en störning inträffar till att ett nytt stabilt tillstånd uppnåtts.

Att betrakta risker i ett rumsligt samhällsperspektiv åskådliggör ett komplext nät av motstridiga intressen. Att *ta beslut* i sådana situationer och beakta alla perspektiv och den relativa betydelsen (rangordningen) av dessa kräver någon form av hjälpmedel. *Multikriteriemetoder* ger ett stöd för att ta beslut i sådana situationer. Några vanliga teoretiska och praktiska metoder presenteras för beslutsfattande och rangordning, bl a AHP-metoden och miljöolycksindex. Multikriteriemetoder kan även kopplas ihop med *beslutsstödjande system* (SDSS) som infogar expertbedömningar och optimeringsmodeller i multikriteriemetoderna. Sådana metoder blir allt vanligare genom att datorer länkas i nätverk, t ex Internet.

Risker är onekligen ett rumsligt problem. Genom att ta fasta på det i riskbedömningar krävs det stöd av verktyg som kan analysera och åskådliggöra de rumsliga aspekterna. Geografiska Informationssystem, *GIS*, utgör på flera sätt ett universalverktyg för riskhantering. Det kan åskådliggöra geografiska problem och förhållanden, kopplas ihop med multikriteriemetoder och beslutsstödjande system, spridningsmodeller, etc.

GIS fyller också en viktig funktion vad beträffar den operativa sidan av riskhantering. Att hantera risker operativt innebär att försöka ta itu med dem i realtid, d v s när en olycka inträffar. Det gäller att göra sig oberoende av tid och rum. För detta krävs assistans från flera tek-

niska hjälpmedel samtidigt. Framför allt kan nämnas den potential som finns i att kombinera GIS tillsammans med satellitbaserad fjärranalys och GPS-teknik. Detta ger en operatör unika möjligheter att övervaka ett riskutsatt område från ett långt avstånd. Tekniska framsteg flyttar hela tiden fram gränserna för vad som är möjligt att genomföra på det här området.

Vad beträffar inom vilket område integrativa regionala studier rent praktiskt fått ett fäste märks framför allt olika ansatser med spridningsmodeller och metoder för att integrera flera aktörer än vad som är brukligt i beslutsfattandet. I det senare fallet rekommenderas i förekommande fall diskussionstekniker och att använda sig av multikriteriemetoder, beslutsstödjande system och GIS. Spridningsmodeller har även använts tillsammans med GIS, multikriteriemetoder och rumsligt beslutsstödjande system (SDSS), bl a för att försöka fördela riskerna mer "rättvist" i ett samhälle.

En kort genomgång görs av i vilka länder som de integrativa regionala riskbedömningsmetoderna vuxit fram och varför. Här märks framför allt industrialiserade och tätbefolkade länder som Holland och Schweiz där det är tätt mellan riskkällorna och en olycka kan få stora och allvarliga konsekvenser. I dessa länder fanns det en allmän misstro till att myndigheterna vid stora infrastrukturella projekt verkligen tagit hänsyn till alla viktiga aspekter i en riskbedömning. Detta ledde till att myndigheterna var tvungna att utveckla en integrativ riskmetodik som IRRASM för att kunna genomföra projekten. Integrativa ansatser har därefter utvecklats i flera andra länder. Sårbarhetsanalyser används t ex i Sverige, Norge, Island och USA. Trenden mot att ta allt bredare hänsyn vid bedömning och hantering av risker verkar given.

För Sveriges del har undersökts på vilket sätt ett integrativt rumsbaserat tillvägagångssätt för att bedöma risker har kommit till uttryck, och likaså exempel på var. Ansatserna spänner över ett brett område, allt ifrån metoder för att hantera statistik på ett standardiserat sätt från flera olika källor till metoder för att bedöma områden vars mark är förorenad av flera olika ämnen med varierande egenskaper. Såväl myndigheter (ÖCB, FOA, Kommunförbundet) som universitet och högskolor är inbegripna i processen.

Några av de allmänna slutsatser som kan dras av studien är att:

- Ur ett samhällsperspektiv där riskerna synes vara komplexa och svåröverskådliga är det angeläget att anlägga en integrativ syn på problematiken istället för ett objektbetonat perspektiv. På så sätt är det möjligt att uppnå en mer samlad bild av riskproblematiken och på sikt även att reducera sårbarheten i samhället.
- Att utgå från rummet istället för de enskilda objekten är en god utgångspunkt för att kunna genomföra en integrativ och samlad bedömning.
- Hur en integrativ riskbedömning skall utföras och med vilka hjälpmedel är inte givet. I rapporten redovisas några förslag som handlar om allt ifrån att integrera flera olika riskkällor till att använda och kombinera olika metoder, modeller och verktyg. IRRASM kan ses som ett vägledande ramverk för att samordna de olika delarna till en helhet. Ett tvärvetenskapligt angreppssätt betonas liksom att integrera flera olika aktörer (allmänhet, markägare etc). På sikt torde därmed även allmänhetens tilltro till myndigheternas riskarbete öka.

Rapporten har givit upphov till flera frågor. Särskilt berör dessa de metoder, modeller och verktyg som skulle kunna utvecklas i en integrativ regional riskbedömning, d v s sårbarhet-

analysen, beslutsmodeller baserade på multikriterametoder och GIS för att beräkna och åskådliggöra risker. På vilka problemställningar är de olika metoderna och verktygen tillämpbara? I vilken mån är det möjligt att integrera dem med varandra? För att försöka besvara denna typen av frågor behövs ytterligare studier på området. Därför skisseras slutligen riktlinjerna i ett antal forskningsprojekt det vore angeläget att fortsätta med.

Innehåll

<i>Abstract</i>	3
<i>Sammanfattning</i>	6
<i>Innehåll</i>	6
1 Inledning	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Målsättning och frågeställningar	6
1.3 Metod, material och avgränsningar	6
1.4 Struktur	6
2 Definitioner	6
2.1 Risk	6
2.2 Olika riskperspektiv	6
2.2.1 Teknisk riskdefinition – enkla metoder att redovisa risk	6
2.2.2 Beteendeorienterande aspekter på definitionen av risk.....	6
2.3 Risktyper	6
2.4 Det robusta samhället	6
2.5 Integrativa regionala riskaspekter	6
3 Metoder för teknisk, objektbetonad riskbedömning och riskhantering	6
3.1 Definitioner	6
3.2 Riskbedömning	6
3.3 Teknisk riskanalys - en internationell standard	6
3.4 Praktiska tillvägagångssätt vid utförande av en teknisk riskanalys	6
3.4.1 Kvalitativa metoder	6
3.4.2 Semi-kvantitativa metoder.....	6
3.4.3 Kvantitativa metoder	6
3.5 Olycksrisker – övriga typer av risker	6
3.6 Något om osäkerhetsanalys – kvalitetssäkring av riskanalys	6
3.7 Riskevaluering	6
3.8 Riskreducerande/preventiva åtgärder	6
4 IRRASM – en rumslig integrativ ansats	6
4.1 Bakgrund, historik	6
4.1.1 Inter-Agency Programme on the Assessment and management of Health and Environmental Risks from Energy and Other Complex Industrial Systems.....	6
4.1.2 The polyproject on risk and safety of technical systems.....	6
4.2 Metodologiska frågor inom IRRASM	6
5 Sårbarhetsanalys	6
5.1 Definition av sårbarhetsanalys	6
5.2 Metoder för att mäta och jämföra sårbarhet	6

5.2.1	Sårbarhetsmatriser	6
5.2.2	Nyckeltal och indikatorer för närsamhällets robusthet (semi-kvantitativ metod).....	6
5.2.3	Sårbarhet i tekniska system.....	6
5.2.4	FEMA's guide för krishantering i företag	6
5.2.5	Risk- och sårbarhetsanalyser i kommuner	6
6	<i>Beslutsmetoder</i>	6
6.1	Inledning, definitioner MCDM, MADM, MCA, SDSS	6
6.2	Verktyg för det totala beslutsproblemet.....	6
7	<i>Ranking-metod byggd på viktning av parameter</i>	6
7.1	Allmän karakterisering Multi Attribute Decision Making-metoder	6
7.2	Analytic Hierarchy Process	6
7.2.1	Beskrivning.....	6
7.2.2	<i>Problemstrukturering</i>	6
7.2.3	<i>Parvis jämförelse</i>	6
7.2.4	Begränsningar/Möjligheter	6
8	<i>Praktiska exempel på index eller MCA-metoder</i>	6
8.1	Vattenkvalitet.....	6
8.2	Miljöolycksindex.....	6
8.3	Indexmetoder och bestämning av brandsäkerhet	6
8.4	MADM och fysisk planering.....	6
9	<i>GIS och risker</i>	6
9.1	Kunskapsöversikt GIS	6
9.2	GIS som ett verktyg för att visa spridning av utsläpp och beräkna riskavstånd	6
9.3	GIS, multikriteriemetoder och beslutsstödjande system, SDSS.....	6
10	<i>Verktyg för operativ riskhantering med stöd av GIS och GPS</i>	6
10.1	Översiktlig genomgång.....	6
11	<i>IRRASM-ansatser i praktiken</i>	6
11.1	Inledning.....	6
11.2	Praktiska ansatser till integrerade studier byggda på spridningsmodeller	6
11.2.1	Spridningsmodeller och beslutsstödjande system – fallstudier.....	6
11.2.2	Transport av farligt gods – konventionell riskanalys.....	6
11.2.3	Transport av farligt gods – Hot Spots	6
11.2.4	ARIPAR-projektet	6
11.2.5	XENVIS	6
11.2.6	Produktsyn istället för produktionssyn	6
11.2.7	Strategiska helhetsmässiga metoder	6
11.3	Metoder för att integrera flera olika aktörers åsikter.....	6
11.3.1	GIS, MCA och SDSS i nätverk, några exempel på fungerande riskverktyg.....	6
11.3.2	Diskussionsbaserade tekniker för att integrera flera aktörer i besluten	6
12	<i>Internationella utvecklingsläget för IRRASM</i>	6
12.1	Exempel på miljöer där integrativ regional riskhantering initierats och tillämpas.....	6
13	<i>Översikt över analysläget för IRRASM i Sverige med inriktning på det robusta samhället</i>	6

13.1 Miljöer och projekt.....	6
13.1.1 Överstyrelsen för Civil Beredskap.....	6
13.1.2 Försvarets forskningsanstalt	6
13.1.3 Svenska kommunförbundet	6
13.1.4 Tekniska högskolor och Universitet	6
13.1.5 Naturvårdsverket	6
13.1.6 Räddningsverket	6
13.1.7 Boverket	6
13.1.8 Riskstatistik	6
14 Slutsatser, frågeställningar och angelägna forskningsprojekt.....	6
14.1 Diskussion.....	6
14.2 Slutsatser	6
14.3 Skiss till ett antal FoU-projekt för vidare utredning.....	6
14.3.1 Översikt av integrationsdimensioner. Ramprogram för forskning.....	6
14.3.2 Testa någon tillgänglig datormodell på svenska förhållanden vad beträffar olycksrisker och risker mot hälsa och miljö.....	6
14.3.3 Utredning av beslutsmodeller framför allt MADM.	6
14.3.4 Sårbarhetsanalyser för några tekniska system	6
14.3.5 Utredda scenariobaserade sårbarhetsanalyser förmåga att granska olika system.....	6
14.3.6 Jämförelse mellan olika metoder att rangordna risk och sårbarhet: PRA – indexmetoder – sårbarhetsanalys	6
14.3.7 Hur kan ett IRRASM-angreppssätt tillämpas i en region?	6
Bilaga 1 Kvantitativa riskbedömningar	6
A. Beräkning av olycksrisker	6
14.3.8 Individuella riskmått.....	6
14.3.9 Samhällsrisker	6
B. Hälsa- och miljörisker relaterade till exponering för kemikalier	6
Bilaga 2 Praktisk användning av AHP-metoden	6
Bilaga 3 Översikt över verktyg för bedömning av olika alternativ i en beslutsprocess.....	6
Bilaga 4 Matris över två integrationsdimensioner	6
Bilaga 5 Översikt över några spridningsmodeller.....	6
Referenser	6
Tryckta källor	6
Internet.....	6

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Denna rapport behandlar området ”integrerad regional riskbedömning och riskhantering”. Att bedöma och hantera risker har fått ett allt större utrymme inom såväl samhällsplaneringen som den privata företagsfären de senaste åren. Anledningarna är en allt mer komplex miljö innehållande flera olika riskkällor samt ett större medvetande om risker i samhället. Synsättet på risk har dock ofta varit fokuserat till objektet (den enskilda riskkällan eller skyddsobjektet). Att se på risker i ett större sammanhang har inte varit lika vanligt.

Integrerad riskbedömning har åtminstone två åtskilda ursprungsmiljöer. En som är orienterad mot teknologiska riskkällor, byggd på användning av felträäd och händelseträäd och med ursprunglig användning inom kärnkraft- och kemisk processindustri; en annan som är orienterad mot studier av transport, exponering och effekt av giftiga ämnen, miljökonsekvensbeskrivningar och epidemiologiska studier. Integrerad riskbedömning länkar samman dessa angreppssätt och försöker dessutom kombinera mer än en källa och mer än en receptor; bedömningen sker över en definierad region.

För mer än 10 år sedan började systematiska studier på området bedrivas inom länder som Holland, Schweiz och Österrike. En betydande kunskaps- och informationsbas har ackumulerats under denna period. Målsättningen med föreliggande rapport är att ge en översikt över området samt föreslå lämpliga nationella forsknings- och utvecklingsprojekt¹.

1.2 Målsättning och frågeställningar

Initiellt förutsattes att översikten skulle begränsas till riskkällor av typen kemiska processanläggningar, transport av farligt gods samt naturrisker som översvämningar och extrema stormar. En anledning var att utländska IRRASM-studier koncentrerats till dessa riskkällor. Under utredningens gång har uppmärksamheten alltmer kommit att koncentreras på samhällets förmåga att från en mycket vidare aspekt klara av hot och påfrestningar. Utgångspunkten är därvid samhällets robusthet och de metoder för analys av robusthet som tagits fram. *Projektets målsättning kom därför att utökas till att undersöka i vad mån begreppet "integrerad" kan utökas till att täcka in flera av de risktyper som ingår i begreppet samhällets sårbarhet och robusthet.*

En integrerad regional riskbedömning och riskhantering syftar till att initiera en process där aktörer från olika samhällsområden (räddningstjänst, beredskapssamordnare, brandingenjörer, naturvetare, samhällsvetare m fl) gemensamt bedömer risker i ett regionalt perspektiv samt diskuterar olika sätt att hantera dessa. En sådan process berör en mängd frågor: Hur skall risker bedömas där vissa kan vara svåra att kvantifiera? Är det möjligt att utveckla indikatorer för att bedöma en regions riskutsatthet? Hur kan komplexa händelseförlopp hanteras? Vilka synergieffekter kan uppstå? Hur kan beslutssystem utvecklas som kan hantera komplexa förlopp? Hur kan olika aspekter hos risker, som miljöbedömningar, hälsoeffekter, lokalisering av miljöfarliga anläggningar, säkerhetskulturer, beslutssystem osv, hanteras i en regional riskanalys? Är det möjligt att låta sociala risker ingå i begreppet "integrerad riskbedömning"? Hur kan samhället på olika sätt bygga in en robusthet som förhindrar, förebygger och hanterar

¹ Projektet har finansierats av ÖCB

olika typer av risker? Vilka metoder är användbara och vilken roll kan Geografiska Informationssystem spela för att t ex visualisera och analysera risklandskap?

Det är naturligtvis omöjligt att inom ramen för ett inledande pilotprojekt ge svar på dessa frågor, målsättningen måste inskränkas till en grov kunskapsöversikt. Som framgår av rapporten är redan detta en uppgift av utmanande karaktär och storleksordning.

1.3 Metod, material och avgränsningar

Även då ambitionen inte har kunnat utsträckas till att fullödigt försöka besvara frågorna ovan har dessa likväl varit vägledande för rapportens utformning och målsättning. Resultatet är en översiktlig sammanställning, en inventering av metoder, modeller och verktyg som anknyter till ett integrativt, regionalt angreppssätt för att bedöma risker. Rapporten omfattar såväl en genomgång av teoretiska metodbeskrivningar som exempel på konkreta projekt som nyligen genomförts, eller håller på att genomföras.

Vissa avgränsningar har varit nödvändiga att göra av ämnet för att försöka hålla rapporten i ett rimligt format. Huvudsakligen behandlas risker som är att hänföra till områdena säkerhet, hälsa och miljö/ekologi. Dock har det på detta stadium inte varit möjligt att inordna alla områden som anknyter till ämnet, exempelvis medicinsk geografi. Finansiella risker liksom risker som är att hänföra till terrorism eller sabotage berörs heller inte i någon större utsträckning. De metoder/modeller som i rapporten sammankopplas med IRRASM-konceptet är att betrakta som ett representativt urval av de tillvägagångssätt som existerar. Det är viktigt att poängtera att det ofta förekommer liknande parallella projekt inom samma sektor. Alla kan dock inte redovisas här.

IRRASM gör anspråk på att presentera en samlad riskbild. Innebörden i detta är bl a att inte endast se till det traditionellt tekniska synsättet på risk utan också ett socialkonstruktivistiskt perspektiv vilket kanske främst utforskats inom de samhällsvetenskapliga disciplinerna. Vidare betonar IRRASM det rumsliga tänkandet. Den projektgrupp som bildats för att sammanställa det rådande kunskapsläget om IRRASM är därför tvärvetenskaplig med kompetens i kulturgeografi och ekonomisk geografi vid Lunds universitet och Stockholms universitet samt riskhantering (LUCRAM, Lund University Center for Risk Analysis and Safety Management) vid Lunds tekniska högskola. Gruppen har även haft kontakter med bl a professor Adrian V Gheorghe vid ETH, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich. Gheorghe är en av grundarna av begreppet IRRASM och en av drivkrafterna bakom mer integrativa och regionala riskbedömningar.

Det visade sig under arbetets gång nödvändigt att redovisa ansevärliga mängder bakgrundsinformation. Ambitionen har varit att hålla dessa avsnitt så kortfattade som möjligt. Trots detta har rapporten vuxit till att omfatta omkring 130 sidor. Vår ursäkt är att detta för oss var enda sättet att redovisa en utomordentligt heterogen och disparat kunskapsmassa.

1.4 Struktur

Rapporten består av fjorton kapitel som utöver en inledning inordnats i fyra delar. Den första delen (avsnitt 2) behandlar definitioner av riskbegreppet samt ger en översikt över några olika risk perspektiv. Vidare redogörs kort för vad ett robust samhälle är och varför det är angeläget att försöka utforma samhället så att det blir mer motståndskraftigt och resilient för

påfrestningar. Slutligen diskuteras vad som kan avses med integrativa och regionala aspekter och utgångspunkter i bedömning och hantering av risk.

I del två (avsnitt 3-10) redogörs för den klassiska, traditionella riskmetodiken med vilket avses ett objektbetonat angreppssätt. Vidare görs en översikt över begreppet IRRASM och dess innehåll. Därefter presenteras ett antal metoder, modeller och verktyg som anknyter till ett integrativt, regionalt angreppssätt för att bedöma och hantera risker. Framför allt avhandlas sårbarhetsanalyser, beslutsmetoder och GIS-applikationer. Dessutom beskrivs hur man inom operativ riskhantering använder sig av flera verktyg som GIS, GPS och fjärranalys.

I del tre (avsnitt 11-13) görs en kortare översikt över var, på vilket sätt och i vilka sammanhang IRRASM-ansatser utvecklats, för Sveriges del såväl som internationellt. I del fyra (avsnitt 14) förs en diskussion och dras slutsatser utifrån det material som presenterats. Slutligen skisseras ett antal FoU-projekt för att besvara frågor som vuxit fram till följd av genomgången.

Del I

Definitioner

2 Definitioner

2.1 Risk

Inom ämnesområdet riskhantering förekommer idag en mängd begrepp och uttryck.

Det mest centrala begreppet i den här rapporten, och samtidigt ett av de mest svårdefinierade, är *risk*. Det kan definieras utifrån flera olika kriterier och synsätt men det existerar två större grenar; det tekniska och det beteendeorienterade (perceptionsbaserade, socialkonstruktivistiska) perspektivet. Enligt det tekniska betraktelsesättet kan riskerna beräknas kvantitativt efter strikt fastställda definitioner. Motpolen till det tekniska perspektivet är den samhällsvetenskapliga, beteendeorienterade, disciplinen som strävar efter att integrera allmänhetens subjektiva värderingar i riskbegreppet. Också inom de båda avdelningarna finns en spännvidd av variationer och åsiktsskillnader (se avsnitt 2.2.1 och 2.2.2).

Även om det förekommer flera motsättningar i sättet att betrakta risk finns det ändå en kärna av samförstånd, i alla fall på en abstrakt nivå. Renn (1998) menar t ex att alla riskkoncept har en gemensam nämnare, de gör en åtskillnad mellan verklighet och möjlighet. Oftast, men inte nödvändigtvis, innebär detta sannolikheten för att en *oönskad* händelse skall inträffa. Även detta påstående är emellertid en sanning med modifikation eftersom det kan konstateras att vissa individer frivilligt utsätter sig för risker för att åtnjuta den spänning som det kan innebära.

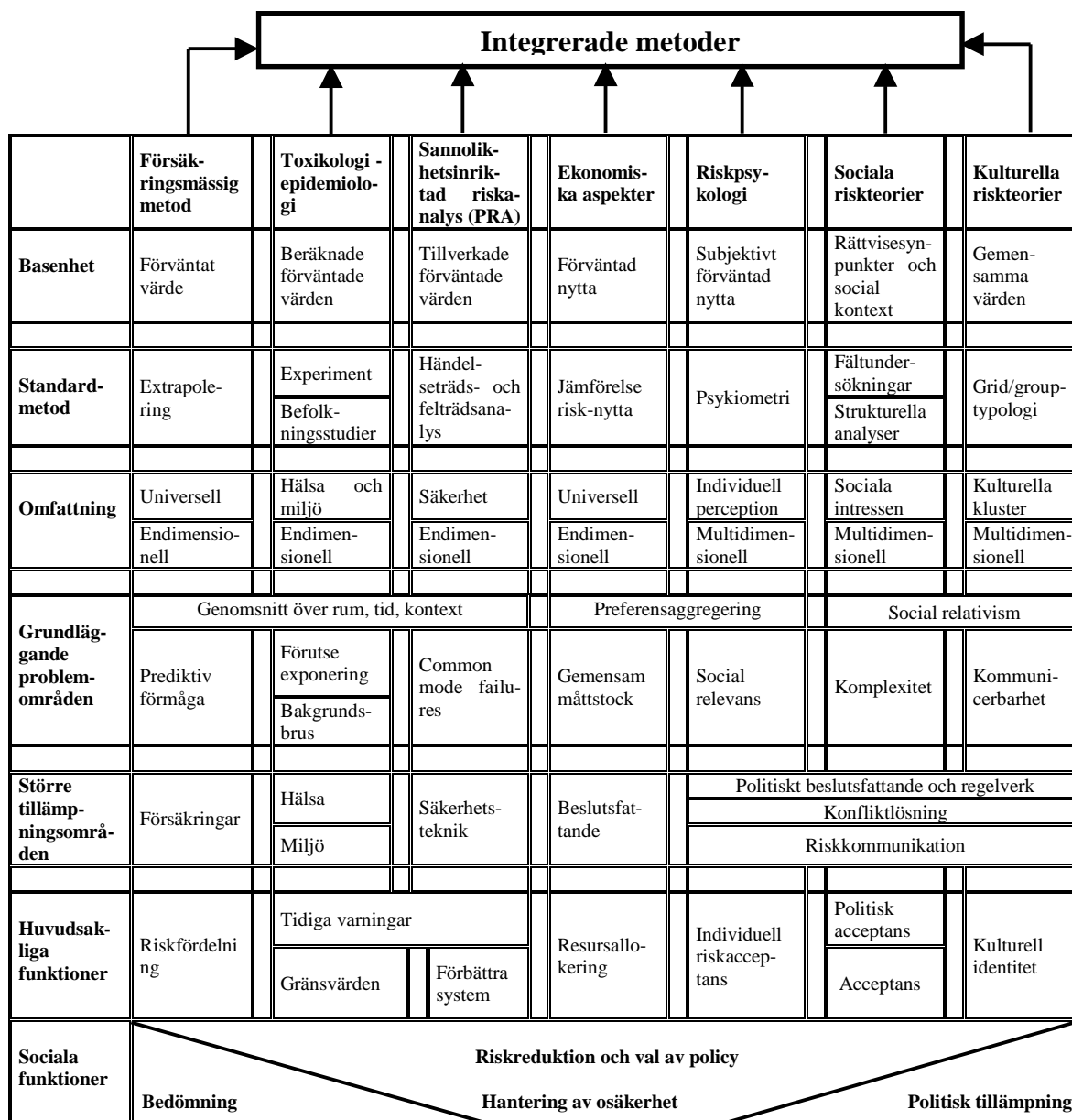
Begreppsskillnader kan även ha sin orsak i vilka risker som är i fokus för en undersökning, d v s vilket riskperspektiv som föreligger. Synen på sannolikhet (för att en oönskad händelse skall inträffa) skiljer sig t ex åt mellan beräkningar av hälsorisker och olycksrisker, något som bl a redovisas närmare i avsnitt 3.5. I det följande avsnittet demonstreras emellertid först några av de vanligaste riskperspektiven som förekommer.

2.2 Olika riskperspektiv

En ambition i integrativa riskbedömningar är att försöka införliva och ta hänsyn till olika riskperspektiv och olika typer eller kategorier av risk. En dikotomi i synen på risker utgörs av det tekniska och det beteendeorienterade betraktelsesättet. Det tekniska tar fasta på sannolikheten för att en händelse inträffar med viss frekvens och sannolikheten för att detta skall orsaka oönskade effekter. Risker uttrycks oftast som produkten av sannolikhet och konsekvens. Konsekvenserna som kan inträffa begränsas oftast till fysiska skador på människor och ekosystem. Sociala och kulturella effekter utelämnas. Synsättet anses snävt men gör riskerna mätbara.

Det beteendeorienterade synsättet tar upp frågor om hur människor upplever risker, hur de skiljer mellan olika typer av risker, vilka konsekvenser som omfattas och hur man kan kommunicera om risker i samhället. Stråvan är att försöka integrera dessa faktorer i riskbedömningen. Nackdelen är att det konkret blir svårare att jämföra risker. Vems uppfattning skall väga tyngst? Vilka risker är allvarigare än andra? Att kombinera det tekniska och samhällsvetenskapliga synsättet ter sig allt mer angeläget för att ge en samlad bild.

Tabell 2.1 Översikt över olika riskperspektiv
Källa: Renn 1998



Den ekonomiska riskuppfattningen är exempel på ett beteendeariktat synsätt som ofta anses ligga nära det tekniska. Genom att mäta nytta och önskade effekter i monetära termer försöker man värdera riskerna. Svagheten med denna metod är att det inte råder någon allmän konsensus huruvida det är möjligt att uttrycka alla livsaspekter i ekonomiska termer. En fråga som ofta uppkommer vid ansträngningarna med att skapa ett integrativt betraktelsesätt är om

det går att samordna de beteendeorienterade och de tekniska perspektiven utan att gå in på monetära termer.

I tabell 2.1 ges en översikt över sju stycken riskperspektiv med avseende på metodval, omfattning och i vilka situationer de tillämpas. De täcker in spektrat från samhällsvetenskapliga till tekniska synsätt. De tre kolumnerna till vänster i tabell 2.1 representerar ett tekniskt riskperspektiv där man förväntar sig en fysisk skada för människor, miljö eller egendom. För att uppskatta sannolikhet används relativa frekvenser. Avsikten är inte sällan att försöka identifiera orsakerna till att en oönskad effekt kan inträffa. Kolumnen längst till vänster åskådliggör försäkringsbolagens relativt okomplicerade risksyn. Försäkringsbolagen ser till det förväntade värdet, vilket uttrycks som den relativa frekvensen för att en händelse genomsnittligt skall inträffa över en viss tid. Man extrapolerar de beräknade värdena för att få en överblick över det område som man inte har erfarenhet av och annars inte skulle kunna uttala sig om. Den andra kolumnen representerar de risker som inte kan observeras som en direkt effekt av en orsakande agent, t ex miljömässiga risker. Kausala förhållanden måste utforskas explicit, inte sällan med speciella modeller. Olika gränsvärden används för att uppskatta omfattningen av riskerna. Den tredje kolumnen redogör för tillvägagångssättet vid bedömning av teknologiska risker. De analyser som har sin grund i det tekniska synsättet används för att upptäcka, undvika och påverka orsakerna som leder till de oönskade effekterna. Ofta används probabilistisk riskbedömning (PRA se avsnitt 3.4.3) för att försöka förutsäga sannolikheten för att säkerhetsfel uppstår i teknologiska system.

Det tekniska, reduktionistiska, riskperspektivet har fått mycket kritik från samhällsvetenskaperna som menar att riskbegreppet innehåller många olika dimensioner (se avsnitt 2.2.2). I tabell 2.1 utgör de fyra kolumnerna till höger några vanligt förekommande riskperspektiv med fokus på mänskligt beteende. De belyser betydelsen av personliga och sociala preferenser för definition av *risk* och försöker illustrera hur det mänskliga psyket fungerar avseende sannolikhetsbaserad information. Gemensamt för de samhällsvetenskapliga riskbegreppen är att individens perception och de mänskliga värderingarna avgör vad som skall definieras som en risk. Det ekonomiska perspektivet (kolumn fyra från vänster) ser till förväntad nytta och balanserar risken mot eventuella vinster. I den femte kolumnen uppmärksammas psykologiska aspekter på riskbegreppet. Risktypen och dess kvalitativa karakteristika anses spela stor roll för den individuella riskuppfattningen. I den sjätte kolumnen behandlas den sociologiska infallsvinkeln. Här betonas att begrepp som ojämlikhet och orättvisa bör införlivas i riskdefinitionen. Kolumnen längst till höger företräder ett perspektiv där kulturella skillnader förklarar variationer i bedömning och uppfattning av risk.

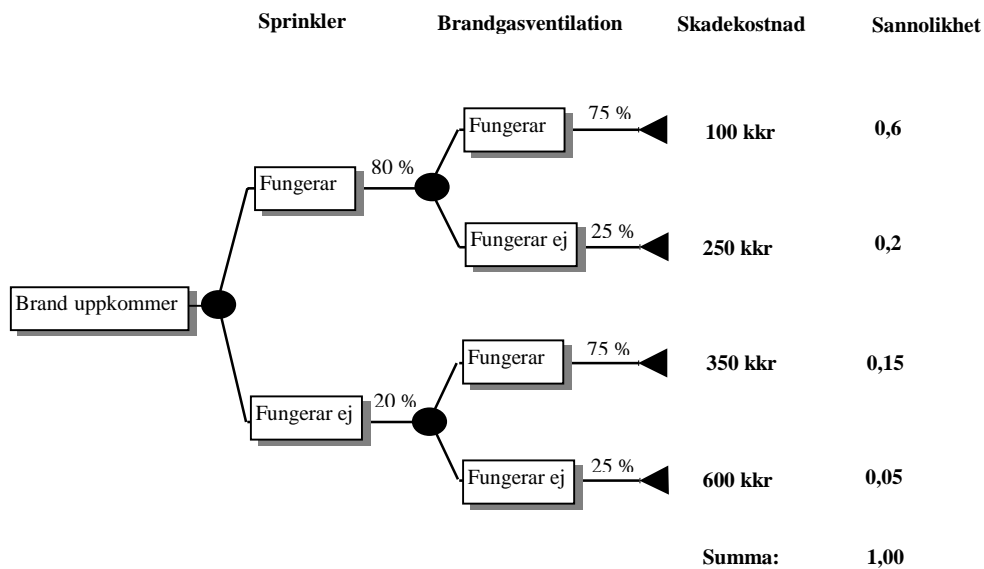
För att kunna ta tillvara de olika perspektiven i tabell 2.1 i en undersökning krävs det metoder som är integrativa till sin karaktär. Detta illustreras av att pilar pekar från varje kolumn till rutan *integrerade metoder*. Ju fler områden som integreras i en studie desto mer samlad (men också mer komplex) blir troligtvis riskbilden.

I avsnitt 2.2.1 och 2.2.2 görs en närmare beskrivning av det tekniska och det beteendeorienterade synsättet på risk. Den tekniska riskdefinitionen kan betraktas som den grundläggande vetenskapliga definitionen utifrån vilken den beteendeorienterade har utvecklats. Därför redogörs först den tekniska preciseringen för att sedan övergå till den sociala och kulturella.

2.2.1 Teknisk riskdefinition – enkla metoder att redovisa risk

Den tekniska definitionen av risk brukar oftast beskrivas som en sammanvägning av sannolikhet och konsekvens. Sammanvägningen kan antingen ske genom en enkel multiplikation eller någon annan funktion (Davidsson 1997). Kaplan (1997) menar att risk kan definieras som svaret på tre frågor: Vad kan hända (vilka scenarion, S , kan uppstå)? Hur troligt är det att det händer (frekventistiskt sannolikt, L)? Vilka är konsekvenserna, X , av händelsen? Svaren på frågorna kan uttryckas som en trippel: (S, L, X) . Genom att formulera trippeln som ett uttryck, dvs $R = \{<S_i, L_i, X_i>\}_c^2$ erhålles en uppsättning svar på de tre frågorna. Risk är därmed lika med summan av alla scenarier, sannolikheten för att de skall inträffa samt den konsekvens som då uppstår.

Sannolikheten för att de olika händelserna (och dess konsekvenser) skall inträffa kan bli illustreras med hjälp av händelseträd, felträd och riskprofiler. Syftet med ett händelseträd är att identifiera de olika konsekvenser som kan bli resultatet av att en händelse inträffar. Såväl sannolikhet som konsekvensens storlek inkluderas (se figur 2.1) I ett felträd söker man istället efter orsakerna till en händelse. Riskprofiler används bl a för att jämföra olika olycksutfall med varandra. Nedan visas i ett starkt förenklat och nedskalat exempel hur en riskprofil kan konstrueras för en initierande olycka (brand uppstår) i ett rum utrustat med sprinkler och brandgasventilation.



Figur 2.1 Exempel på händelseträd för brandutveckling i ett rum
Källa: Mattsson 1997

²_i står för ett specifikt scenario. _c står för complete och innebär att alla scenarier är intressanta för att besvara frågan om vad risk är.

Tabell 2.2 Underlag för framtagande av riskprofil
Källa: Mattsson 1997

<i>Delhändelse</i>	<i>Konsekvens</i>	<i>Sannolikhet</i>	<i>Subtraherad sannolikhet</i>
1	100	0,6	1,0
2	250	0,2	0,4 (1-0,6)
3	350	0,15	0,2 (0,4-0,2)
4	600	0,05	0,05 (0,2-0,15)
		$\Sigma = 1$	

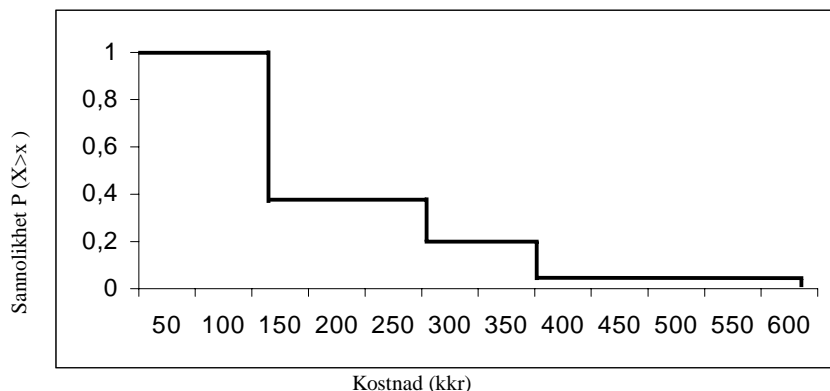
Första steget i att framställa en riskprofil är att konstruera ett händelsetråd enligt figur 2.1. När väl detta är gjort och sätts delhändelserna i händelsetrådet lämpligen in i en tabell (se tabell 2.2) och sorteras efter stigande konsekvens. Genom att subtrahera sannolikheten mellan föregående delhändelse och de återstående erhålles ett underlag för att kunna framställa en riskprofil (komplementär fördelningsfunktion³) som illustrerar sannolikheten för att utfallet skall bli större än det givna värdet⁴.

Figur 2.2 visar sannolikheten för att en skada (här uttryckt i kronor) skall vara större än ett visst värde. I Figur 2.3 åskådliggörs ett exempel där två riskprofiler, representerande ett system A och ett system B jämförs. Skillnaden mellan de två systemen kan exempelvis ligga i att de har olika typer av skyddssystem med innebörden att funktionssäkerheten skiljer sig åt. Profilen som representerar system B, längst till vänster i figuren, är det mest fördelaktiga (dominerande) ur risksynpunkt eftersom det ger minst skada för alla värden på sannolikhet.

Ofta uppfattas risk som en händelse som kan inträffa eller en utlösande orsak till en händelse. Detta är, som framgår av den tidigare definitionen av risk, emellertid en missuppfattning. Tekniskt sett avser risken *sannolikheten* och *konsekvenserna* av en händelse. *Risikkällan* avser den egenskap (i t ex ett system) som kan ge upphov till en skadehändelse (Kemikontoret 1996 och Lidskog, Sandstedt och Sundqvist 1997). Det som skiljer *risk* från *risikkälla* är sannolikheten för att skada skall uppstå till följd av exponering (Cothorn 1993). En giftig kemikalie är således en risikkälla för människor men är ingen risk så länge inte människor exponeras för den. Att identifiera risikkällor innebär endast att man försöker besvara frågan huruvida det är skadligt att exponeras för en viss effekt.

³ Det engelska uttrycket är *complementary cumulative distribution function*.

⁴ Om båda axlarna i fig 2.2 logaritmeras och X-axeln representerar antal människoliv erhålles en s k Frequency/Number-kurva, F/N-kurva (se figur B1 a2 i bilaga 1) som beskriver sannolikheten att en olycka av viss storlek (=med ett visst antal dödsfall) skall inträffa.



Figur 2.2 Exempel på riskprofil
Källa: Mattsson 1997

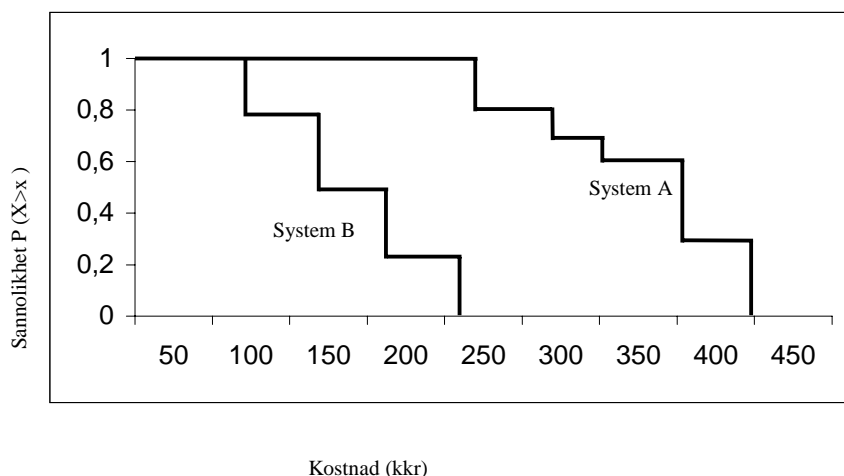


Fig 2.3 Exempel över två riskprofiler där en är dominerande (optimal).
Källa: Mattsson 1997

2.2.2 Beteendeorienterande aspekter på definitionen av risk

Riskbegreppet som länge varit baserat på det tekniska synsättet har på senare tid fått stark kritik för att vara alltför snävt då det i mycket liten grad tar hänsyn till subjektiva åsikter och riskens kvalitativa egenskaper. Ovan har i korta drag berörts några olika samhällsvetenskapliga riskperspektiv (se tabell 2.1). I det följande behandlas dessa perspektiv som en enhet.

Vilka är då bristerna med det tekniska synsättet? Renn (1998) sammanfattar svaret i några punkter:

- Det tekniskt 'reduktionistiska' angreppssättet utelämnar en mångfald av aspekter som folk i allmänhet förknippar med risk.
- Samspelet mellan mänskliga aktiviteter och konsekvenser är mer komplext och unikt än vad som ryms i det sannolikhetsbegrepp som används i de tekniska analyserna.

- Den tekniska riskanalysen kan inte ses som en värdefri vetenskaplig aktivitet. Värderingar reflekteras i hur risker karakteriseras, mäts och tolkas.
- Den numeriska kombinationen av konsekvens och sannolikhet förutsätter likvärdig betydelse för de båda komponenterna. Detta förhållande har emellertid visat sig vara mer komplicerat i verkligheten då allmänheten i högre grad undviker risker med låg sannolikhet men med stora konsekvenser än risker med stor sannolikhet och måttlig konsekvens.
- Att generellt sammanställa data som berör stora populationer över lång tid utelämnar ofta viktiga individuella skillnader och preferenser.

Renn (1998) är bara en av många som menar att risk är en dual konstruktion, bestående av en teknisk och en beteendeinriktad del. Han anser att det fordras en samordnad strategi för att hantera risker på ett effektivt sätt. Många efterlyser också att i riskbedömningar integrera mer av den pluralism som olika människors riskuppfattning bär med sig. Pidgeon (1998) tycker t ex att bedömning och hantering av risker är en angelägenhet för både vetenskap och värderingar. Undersökningar har visat att värderingar skiftar beroende på social och kulturell tillhörighet samt historisk kontext. Det samhällsvetenskapliga synsättet inkluderar bl a faktorer som jämlikhet, rättvisa, flexibilitet och resiliens. Livsstilsrelaterade faktorer och levnadsvillkor syns sällan i de tekniska analyserna men desto oftare i de samhällsvetenskapliga studierna. Det samhällsvetenskapliga synsättet kan alltså till stora delar kompensera tillkortakommanden i det tekniska synsättet.

Otway & von Winterfeldt (1982) visar på några kvalitativa aspekter som har konstaterats påverka människors negativa acceptans av teknologiska risker.

- Ofrivillig utsatthet.
- Brist på personlig kontroll.
- Osäkerhet om sannolikheten eller konsekvensen av en olycka.
- Brist på erfarenhet av risken.
- Tidsfördröjda effekter av exponeringen.
- Genetiska effekter.
- Olyckor som sker sällan men när de inträffar så är effekten av katastrofal karaktär (Low Probability – High Consequence).
- Fördelar som inte är påtagliga.
- Fördelar som gynnar andra.
- Olyckor som förorsakas av mänskliga faktorn (jämfört med t ex naturrelaterade).

Sambandet och betydelsen av riskens kvalitativa egenskaper och riskperceptionen har bl a undersökts inom den psykometriska traditionen⁵. Man har fokuserat på två frågor: Formar de olika kvalitativa egenskaperna ett värderingsmönster? Är det möjligt att modellera hur individer 'konstruerar' risker och på det sättet vinna insikt? Slovic, Fischhoff och Lichtenstein (1982) försökte komma fram till ett svar på frågorna i en undersökning där man bad en grupp försökspersoner bedöma 90 olika riskkällor med avseende på 18 kvalitativa egenskaper. Med statistiska metoder kunde man sedan härleda tre principiella oberoende faktorer, sammansatta av ett antal karakteristika, som förklarar riskupplevelsen. Den första faktorn beskriver graden av fruktan, den andra uttrycker hur (o)känd riskkällan är och den tredje exponeringsnivån. Riskkällorna har redovisats grafiskt med avseende på de två första faktorerna.

⁵ Man har emellertid fokuserat på den subjektiva bedömningen av enskilda riskkällor och inte närmare belyst hur risker uppfattas i förhållande till andra sammanhang som livsmål etc.

Figur 2.4 är en förenklad version av denna grafiska framställning (med avseende på antalet riskkällor) och härstammar från Räddningsverket (1989)⁶. Riskkällornas placering i riskrymden avgör riskupplevelsen och vilka krav som ställs på riskreducerande åtgärder. Faktor ett (fruktan) tillmäts störst betydelse för riskperceptionen och människors vilja att reducera riskerna. Senare studier har bekräftat resultaten och pekar på att människors riskperception är starkt beroende av olika kvalitativa aspekter som är sammankopplade på ett subtilt och komplext sätt. Det är viktigt att poängtera att det kan finnas stora skillnader mellan olika individers riskupplevelse och mellan olika sociala och kulturella grupper. Det torde därför inte vara möjligt att extrapolera individundersökningar till större grupper eller överföra resultatet obearbetat till andra kulturer.

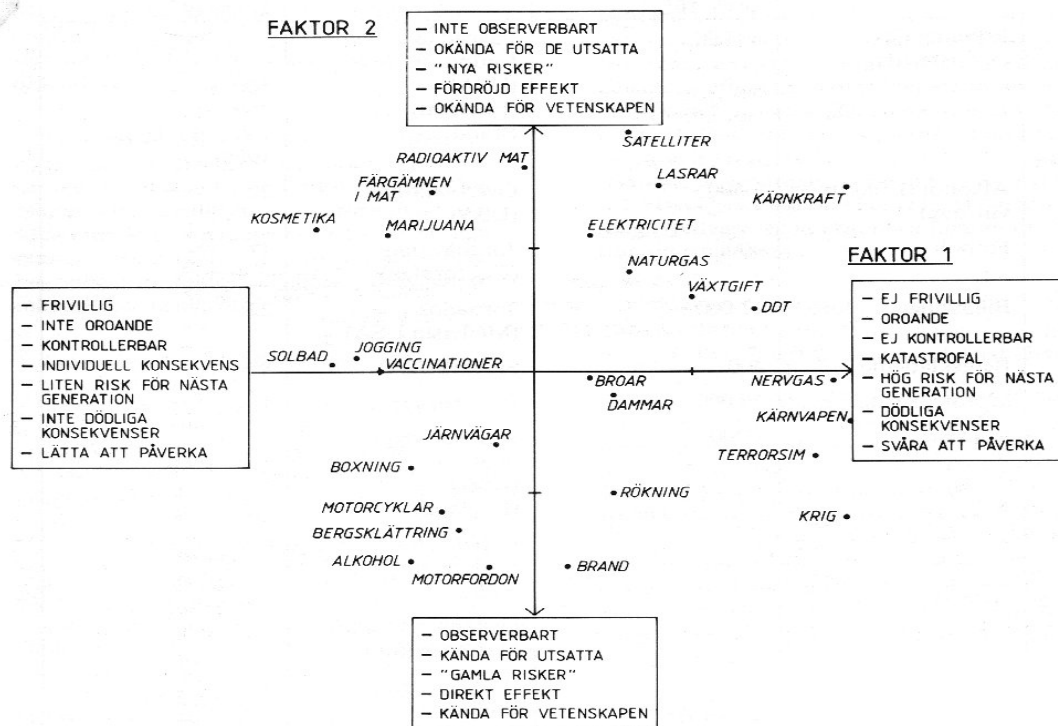


Fig 2.4 Kvalitativa aspekter på risk

Källa: Förenklad figur av Räddningsverket (1989) baserad på Slovic (1982)

⁶ Det kan konstateras att flera undersökningar av den här typen har genomförts och omfattar en hel forskningsgren (se The Royal Society 1992)

Det har också visat sig möjligt att urskilja några olika ”strategier” för hur gemene man skapar sin riskuppfattning (Cox 1991, Renn 1998):

- *Representativitet*: Unika händelser, som antingen upplevts personligen eller som associeras med egenskaper av en händelse, får större betydelse för riskuppfattningen i förhållande till objektiv information om sannolikheter när någon skall göra en förutsägelse om risken.
- *Minnet av risken*: Vilken beror av tiden som gått sedan en händelse inträffade och om man har blivit påmind om den (t ex hur den hanterats i medierna).
- *Anpassning och förankring*: Innebär att det slutliga värdet endast blir en justering av det preliminära värdet.
- *Riskaversion*: Innebär i korta drag att individer i allmänhet reagerar starkare mot olyckor av typen LP-HC (Low Probability – High Consequence) än tvärtom. En olycka med tio dödade betraktas som svårare än tio singelolyckor med dödlig utgång.

Då en helhetssyn på riskfrågor eftersträvas finns det ett tydligt behov av att vid bedömning av risker ta hänsyn såväl till de tekniska som de beteendeinriktade sidorna i riskbegreppet. Renn (1998) summerar i några punkter vad det samhälleliga riskperspektivet kan tillföra den traditionellt tekniska riskhanteringsprocessen:

- Identifiera och förklara allmänhetens intresse för olika riskkällor.
- Förklara sammanhanget kring risktagande i olika situationer.
- Identifiera kulturella betydelser och associationer som kan kopplas till speciella riskområden.
- Hjälpa till med att formulera förhållningssätt till risk i samband med att försök görs för att minimera risker, t ex det sociala perspektivets krav på jämnare fördelning av risker och sårbarhet.
- Utforma strategier för att inkorporera kulturella värden i beslutsprocessen.
- Utarbeta program för allmänt deltagande och gemensamt beslutsfattande.
- Gestalta program för utvärdering av riskhantering och organisatoriska strukturer för att identifiera, övervaka och kontrollera risker.

Samtidigt som det breda perspektivet är en styrka i det samhällsvetenskapliga synsättet finns det vissa problem förknippat med detta. De två större är:

1. Det samhällsvetenskapliga perspektivet bidrar inte med något enhetligt inslag. Rekommendationerna varierar med världssyn och disciplin.
2. Det finns inte någon gemensam nämnare för att mäta social eller kulturell acceptans.

Det första problemet kan i viss mån lösas genom att flera perspektiv beaktas och genom att kunskap införskaffas om de olika perspektivens för- och nackdelar. Det andra problemet kan i viss mån reduceras genom att en enhetlig diskurs utvecklas mellan de inblandade parterna⁷.

Flera försök har gjorts för att väva samman det tekniska och det samhällsvetenskapliga riskperspektivet (bl a Rosa 1998 och Jakobsen 1997). Social Amplification Theory (Kasperson m fl 1988) bör kort nämnas som ett sådant försök. Enligt denna teori påverkas individens riskuppfattning av samspelet mellan riskkällor, händelser och olika psykologiska, kulturella och sociala processer. På så sätt kan individens och sociala gruppers riskuppfattning stegras eller mildras och påverka beteenden. Teorin har dock varit svår att pröva empiriskt (Enander & Fredholm 1996).

⁷ Den intresserade läsaren hänvisas till Apostolakis (1998).

2.3 Risktyper

Risker kan kategoriseras efter en mängd olika kriterier. I det närmaste görs en översikt över de vanligaste. International Electrotechnical Commission, IEC (1995), gör två typer av indelningar. Först i fyra huvudkategorier efter riskkälla:

- Naturmässiga – översvämningar, jordbävningar, stormar m m.
- Teknologiska – industrianläggningar, strukturer, transportsystem, konsumentprodukter, kemikalier etc.
- Sociala – överfall, krig, sabotage etc.
- Livsstilsrelaterade – droganvändning, rökning m m.

Men risker kan också kategoriseras efter de konsekvenser som undersöks. IEC (1995) ger några exempel.

- Individuella - påverkan på en individ ur allmänheten.
- Yrkesmässiga - påverkan på en arbetare.
- Samhälleliga - övergripande påverkan på allmänheten.
- Egendomsrättsliga och ekonomiska - affärsmässiga störningar eller skada på fysisk objekt.
- Miljömässiga - påverkan på land, vatten, mark, flora etc.

Kolluru (1996) gör en indelning av olika risker med avseende på vilken metodik för riskbedömning som är nödvändig:

- Olycksrisker
- Hälsorisker
- Ekologiska/miljömässiga risker
- Välfärds/goodwill-risker
- Finansiella risker

Olika myndigheter och andra organisationer gör egna indelningar. Boverket (Persson 1998) rekommenderar kommunerna att arbeta med:

- Naturrisker – markområden där geologiska och hydrologiska förhållanden kan ge upphov till skred, översvämningar, radonutsläpp etc.
- Industri och lager etc - anläggningar med omfattande hantering av eller produktion av kemiska ämnen och farligt gods.
- Hamnar, flygplatser, terminaler – d v s anläggningar där farligt gods hanteras/omlastas.
- Kommunikationer, transporter – transport av farligt gods.
- Risker under beredskap och krig – anläggningar som utgör potentiella mål för sabotage.

ÖCB m fl (1998) gör, i likhet med andra länders civilförsvär, en bred indelning för att täcka in alla de funktioner som är väsentliga för att ett samhälle skall bestå och motstå svåra prövningar, d v s vara robust. ÖCB m fl har bl a upprättat en checklista för robusthetsanalys (se tabell 2.3). I denna görs en uppdelning på olika samhälls- och funktionsområden som är utsatta för olika typer av risker och hot ur ett samhälleligt robusthetsperspektiv.

Risker i samhället kan självfallet kategoriseras på flera andra sätt än de som redovisats här. Bredden och djupet av de olika indelningarna skiljer sig åt beroende på vem som upprättar dem och varför.

Tabell 2.3 Olika riskutsatta samhälls- och funktionsområden
Källa: ÖCB 1998

Viktiga samhällsfunktioner	Fysisk struktur	Viktiga samhällsresurser	Mark och byggnader
<ul style="list-style-type: none"> • teknisk försörjning och infrastruktur • transporter och transportanläggningar • livsmedelsförsörjning • hantering av farliga ämnen 	<ul style="list-style-type: none"> • bebyggelsestruktur • grönstruktur och naturmiljö • kulturmiljö 	<ul style="list-style-type: none"> • näringsstruktur • sociala och kulturella förhållanden 	<ul style="list-style-type: none"> • t ex översvämningar och bränder
<ul style="list-style-type: none"> • sjukvård och omsorg • beslut- och utvecklingscentra 			

2.4 Det robusta samhället

Ett av de grundläggande målen för samhällsplaneringen är att skapa säkra och goda livsmiljöer. Allt större ansträngningar görs därför för att komma tillrätta med de risker för sammanbrott och försvagning som kan observeras i tabell 2.4 och istället göra samhället mindre sårbart. Sårbarhetskonceptet karakteriserar systemets brist på robusthet utifrån flera olika hot. Einarsson och Rausand (1998) karakteriserar sårbarhet i ett industriellt system som:

The properties of an industrial system; its premises, facilities, and production equipment, including its human resources, human organization and all its software, hardware, and network, that may weaken or limit its ability to endure threats and survive accidental events that originate both within and outside the system boundaries (Einarsson och Rausand 1998: 536).

Sårbarheten i ett system berör alltså dess överlevnad. Motsatsen till det sårbara samhället är det *robusta*, m a o ett samhälle som har förmågan att stå emot, anpassa sig efter och överleva svåra påfrestningar. Frågan som därmed ter sig allt viktigare är *hur* samhället kan utformas för att bli mindre sårbart, eller mer motståndskraftigt, mot olika prövningar.

Tabell 2.4 Innebörden av sårbarhet
Källa: Bergström m fl 1998

Kategori	Sammanbrott	Försvagning
Människor	Död	Sjukdom, undernäring
Samhälle	Anarki	Fientlighet
Tekniska system	Ingen funktion	Bristfällig funktion
Naturen	Artdöd/sterilitet	Störningar i ekosystem

ÖCB m fl (1998) definierar det robusta samhället som sammansatt av en teknisk, en social och en ekologisk (se figur 2.5) dimension. ÖCB menar att det är viktigt att anlägga ett helhetsperspektiv på dessa aspekter och att samhällsbyggandet måste utgå från ett hänsynstagande till var och en.

Social robusthet handlar om god samhällsorganisation goda relationer inom samhället. Gemensamma regelsystem, demokrati, välfungerande organisation av verksamheter, service och boende är viktiga nyckelord.

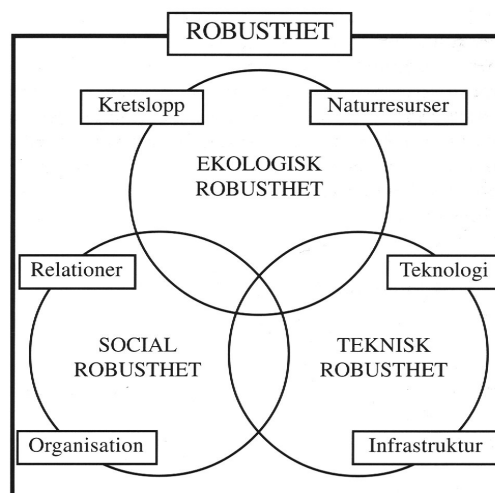
Ekologisk robusthet innebär att naturresurser skall utnyttjas varsamt och att ekologiska kretslopp inte bör rubbas. Hushållning med resurser och ett fungerande samspel mellan den byggda miljön och naturen är viktiga utgångspunkter.

Tekniskt kan samhället betraktas som robust då teknologin och infrastrukturen är mångsidig och av god kvalitet. Storskaliga system bör kombineras med mindre, lokala för att bygga upp en reservkapacitet och flexibilitet. Ekonomisk robusthet ingår på olika sätt i de tre dimensionerna.

I debatten om det robusta samhället diskuteras ibland att begreppet robusthet inte helt täcker in alla önskvärda egenskaper hos ett samhälle där det finns en strävan efter att reducera sårbarheten. Ett system som inte lyckas stå emot en påfrestning bör istället vara flexibelt och kunna återhämta sig snabbt. Begreppet resiliens representerar sådana kvaliteter (Wirén 1998). Det är alltså angeläget att även säkra eller bygga in möjligheter för återhämtning i systemet. För att verka för ett robust och resiliert samhälle föreligger det ett behov av att försöka förutse och uppmärksamma riskerna mot dess olika funktionsområden. Olika metoder för att bedöma riskerna mot ett sårbart samhälle fyller därmed en viktig funktion i samhällsplaneringen. Särskilt gäller kanske detta de integrativa metoder som har ambitionen att täcka in flera olika aspekter på de risker som samhället är utsatt för. Nedan diskuteras på vilket sätt, och hur, olika element kan sammanföras i en integrativ undersökning, m a o vad som menas med det *integrativa* angreppssättet i en IRRASM-ansats.

2.5 Integrativa regionala riskaspekter

Som redogjordes inledningsvis har risker mot miljö, hälsa och säkerhet en tydligt rumslig utbredning. Riskkällan har en position i rummet, själva olyckan äger rum någonstans och effekterna sprider sig i rummet. Olika risker kommer därför oundvikligen att överlappa varandra geografiskt sett. För att erhålla en uttömmande bild av de risker som ett subjekt/objekt löper i en viss position i rummet kan riskerna inte behandlas som enskilda fenomen. Det traditionella sättet att bedöma risker utgår, vilket framgår av avsnitt 3.2, emellertid från objektet och den rumsliga avgränsningen i analysen görs här främst med hänsyn till denna enda riskkälla. Detta innebär att risken kommer att ses ur ett snävt perspektiv. En enskild



Figur 2.5. Det robusta samhällets dimensioner
Källa: ÖCB 1998

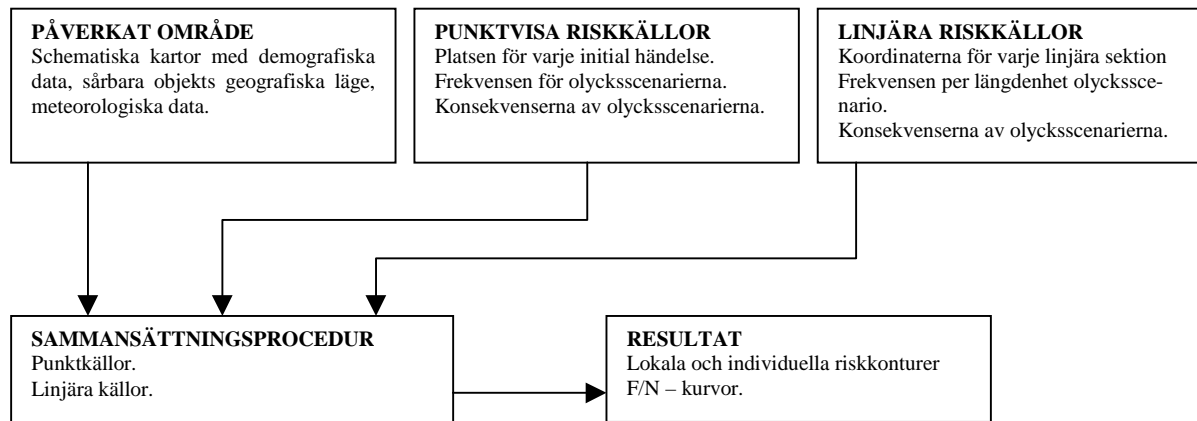


Fig 2.6 Procedur för rumsbaserad integrativ riskanalys av säkerhetsrisker.

riskbedömning säger således inte mycket om vilka risker person A sammanlagt exponeras för i sitt bostadsområde eller vilka andra faror som hotar ekosystem B.

IRRASM (se avsnitt 4) tacklar problemet genom att inleda riskbedömningen med att göra en större (grov) rumslig avgränsning för att täcka in alla relevanta riskkällor och utsatta subjekt/objekt m h t ett specifikt syfte, t ex att undersöka risksituationen i en region. Vad som eftersträvas är en *samlad bild av riskerna i rummet*. En fråga som därvid uppkommer är naturligtvis hur rummet bör avgränsas.

De rumsliga ansatser som har förekommit i Sverige har ofta stannat vid kommungränserna. Eftersom många av dagens risker kan ge upphov till effekter långt från källans position bör inte den rumsliga avgränsningen vara för snäv. Den regionala nivån framstår på flera sätt som lämplig för att täcka in de flesta av de aspekter som kan påverka riskbilden för olika utsatta objekt/subjekt, i alla fall ur ett samhällsperspektiv (Gheorghe 1995). Vad avses då med region? En region kan definieras och avgränsas på många sätt och efter flera kriterier. De flesta källor som behandlar risker på en regional nivå avser dock ett område som är mindre än de flesta territorialstater men större än de flesta kommuner, t ex Öresundsregionen. Vad som är en lämplig och optimal avgränsning måste emellertid bedömas i varje enskild situation. Viktigt är att området är så pass stort att alla, för undersökningen relevanta, riskkällor och sårbara objekt/subjekt (m h t till kausala kopplingar) innefattas i studien utan att situationen blir överskådlig och ohanterbar.

Figur 2.6 åskådliggör schematiskt hur proceduren för en integrativ rumsbaserad riskanalys kan se ut. Den är integrativ såtillvida att den tar hänsyn till olika typer av olycksrisker i ett påverkat område. Med begreppet integrativ kan emellertid avses betydligt mer än så. Visserligen eftersträvas en helhetssyn men denna kan uppnås på olika nivåer. Den totala bilden torde utgöras av att man utgår från hela samhället och dess olika subsystem (sociala, ekologiska, tekniska system, jmf det robusta samhället). En helhetsbild kan emellertid även eftersträvas för mindre system och för andra ändamål (t ex inkludera alla de faktorer som avgör riskerna från spridning av skadliga ämnen från en riskkälla). I den litteratur som explicit framhållit det integrativa rumsliga tillvägagångssättet att hantera risker på (bl a Gheorghe och Nicolet-

Monnier 1995a,b, Gheorghe 1996a,b, Fedra 1996, 1998 och IAEA m fl 1998) framförs några förslag på vad som bör ingå i en integrativ riskstudie. I det följande görs en översikt.

De ofrånkomliga elementen i en riskanalys utgörs av riskkällan och det utsatta objektet/subjektet. Riskerna mäts för det mesta mot ett enskilt sådant objekt/subjekt i taget, t ex ett ekologiskt system, mänsklig hälsa, säkerhet etc. En fråga är naturligtvis i vilken omfattning det är rimligt, och över huvud taget möjligt, att i en analys samtidigt se till *flera sårbara entiteter* av olika slag. Att bredda analysernas omfattning stöds bl a av den nya miljöbalken som integrerar säkerhets- och miljöaspekter. Ett problem är dock att riskerna baseras på olika effekter. Hur skall det riskmått se ut som är relevant för olika typer av utsatta objekt? Är det rimligt och meningsfullt att sträva mot *ett* sådant mått?

Gheorghe (1996), Fedra (1998) och IAEA m fl (1998) påpekar vikten av att försöka *integrera flera riskkällor* i bedömningen och att integrationen omfattar såväl externa som interna faktorer (Fedra 1997). Diskussionen förs å andra sidan endast med avseende på emissioner. Det är något oklart i detta sammanhang i vilken mån riskkällor av olika slag (t ex sociala risker och risker som berör den tekniska infrastrukturen) rekommenderas att sammanföras i en bedömning och hur detta skall ske.

Att beakta flera riskkällor innebär också att det är angeläget att uppmärksamma de effekter som kopplingarna däremellan utgör. Synergistiska och gränsöverskridande effekter kan bidra till en annorlunda riskbild än vad som kan verka vara fallet vid en första anblick (Gheorghe 1996b, Nicolet-Monnier 1996). Även om inte direkta kopplingar föreligger kan källorna indirekt påverka varandra. Det är betydelsefullt att beakta de *"dominoeffekter"* eller *"kombinationsolyckor"* som t ex kan uppstå då fel i ett system slår ut ett annat system som slår ut ett tredje o s v. Ett område där denna typ av effekter kan förekomma är vid transport av farligt gods (SRV 1989). Det finns risk för att en vägtrafikolycka sker och som en följd härav inträffar ett läckage av ett farligt ämne vilket förorenar marken som i sin tur förorenar grundvattnet o s v.

Att *integrera flera aktörer* med olika uppfattningar och intressen om vad risker är, hur de värderas och hur de bör hanteras ger en bredare bild av vad risk är. För att uppnå en så heltäckande syn på risker som möjligt är det angeläget att ta hänsyn till de olika perspektiven, d v s såväl den tekniska som den beteendeariktade risksynen (Gheorghe 1995 & 1996). En följd av detta kan t ex vara att integration över myndighetsgränser måste ske. Idag varierar ansvarsområde och resurser påtagligt. Det är troligt att riskhanteringsprocessen har mycket att vinna på ett utökat samarbete. Bl a Svedung & Rasmussen (1997) har visat på att en viktig orsak till att risker utlöses är att återkopplingen mellan olika aktörer i ett socioteknologiskt system inte fungerar tillfredsställande. Detta gäller såväl de vertikala som horisontella kopplingarna i systemet.

Informationsmängden i en rumslig och integrativ analys blir oundvikligen mycket stor och mångfacetterad. Att integrera dessa *faktamängder* med varandra ger ytterligare kunskaper och information om risksituationen i rummet. Riskmått kan t ex jämföras med sociala, ekonomiska och demografiska faktorer och peka på intressanta korrelationer. Detta kräver goda statistiska kunskaper och stor aktsamhet eftersom det är lätt att felbehandla, och vilseleda med, statistik

Fedra (1998) pekar på behovet av att använda *olika verktyg* för att kunna hantera de stora datamängder som uppstår vid en riskbedömning. Det handlar dels om att integrera verktyg med

olika metoder men också att samordna verktygen med varandra. Samverkan mellan flera sådana verktyg, t ex dynamiska simuleringsmodeller tillsammans med GIS-system och fjärranalys, kan bygga upp mycket kraftiga och betydelsefulla system för riskbedömning och riskhantering i (real)tid och rum. Kommunikationsteknologins snabba utveckling flyttar ständigt gränserna framåt för vad som är möjligt att utföra.

En grundläggande integrativ ansats i rapporten görs i och med att fokus är på det robusta samhället (se avsnitt 2.4). I det robusta samhället betonas vikten av att *olika dimensioner* av samhället är i god funktion och att kopplingarna mellan dessa är starka och friktionsfria. Mer konkret innebär detta att hänsyn tas till de aspekter som redovisats i tabell 2.3. I rapporten behandlas även integrativa analysmetoder som grundar sig på en systemsyn. Ett sådant exempel är sårbarhetsanalysen (se avsnitt 5).

En sammanfattning kan göras så här långt av vad som kan anses karakterisera begreppet *integrativt* i rapporten⁸.

- Att anlägga ett holistiskt perspektiv och/eller systemsyn på samhället och beakta alla riskelement.
- Integrera många riskkällor, såväl interna som externa och eventuellt av olika sort.
- Knyta ihop tid och rum (för t ex distansövervakning i realtid).
- Uppmärksamma kopplingseffekter (synergi- och dominoeffekter, d v s en systemsyn).
- Se till påverkan på flera sårbara subjekt/objekt.
- Beakta olika aktörer och intressenter samt deras varierande perspektiv och uppfattningar.
- Utröna samverkansmöjligheter över myndighetsgränser.
- Integrera olika informationstyper (attribut av olika slag som sociala och ekonomiska faktorer).
- Integrera olika tekniska verktyg såväl med varandra som med olika metoder och modeller.

I den 'fullständiga' riskanalysen, teoretiskt sett, integreras alla element ovan. Frågan är i vilken mån detta är möjligt och om det inte bara är ett ouppnåeligt ideal. Kanske bör man istället fråga sig vad som är rimligt och meningsfullt att integrera, och i vilken grad, för att de stora fördelarna med IRRASM skall uppnås. I kap 14 summeras vad som rent praktiskt har åstadkommit fram till idag och en diskussion förs om hur man kan utveckla och testa IRRASM-konceptet genom fördjupade studier.

⁸ Vi vill här påpeka att vi inte gör anspråk på att ha gjort en uttömmande definition av vad som kan avses med begreppet integrativt i sammanhanget utan vill mer visa på några exempel.

Del II

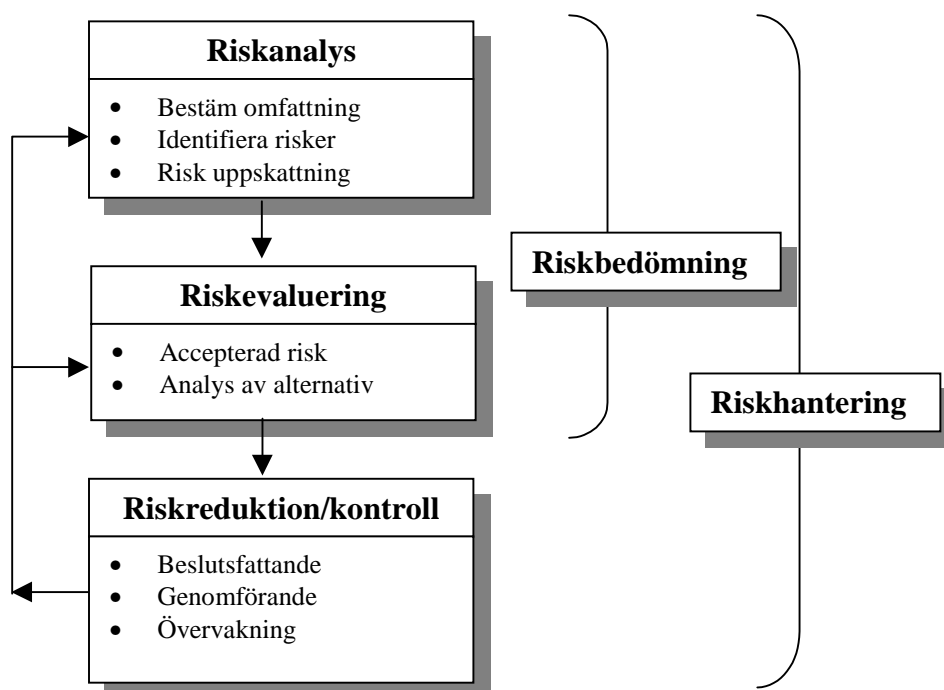
Metoder och verktyg för riskbedömning och riskhantering

3 Metoder för teknisk, objektbetonad riskbedömning och riskhantering

3.1 Definitioner

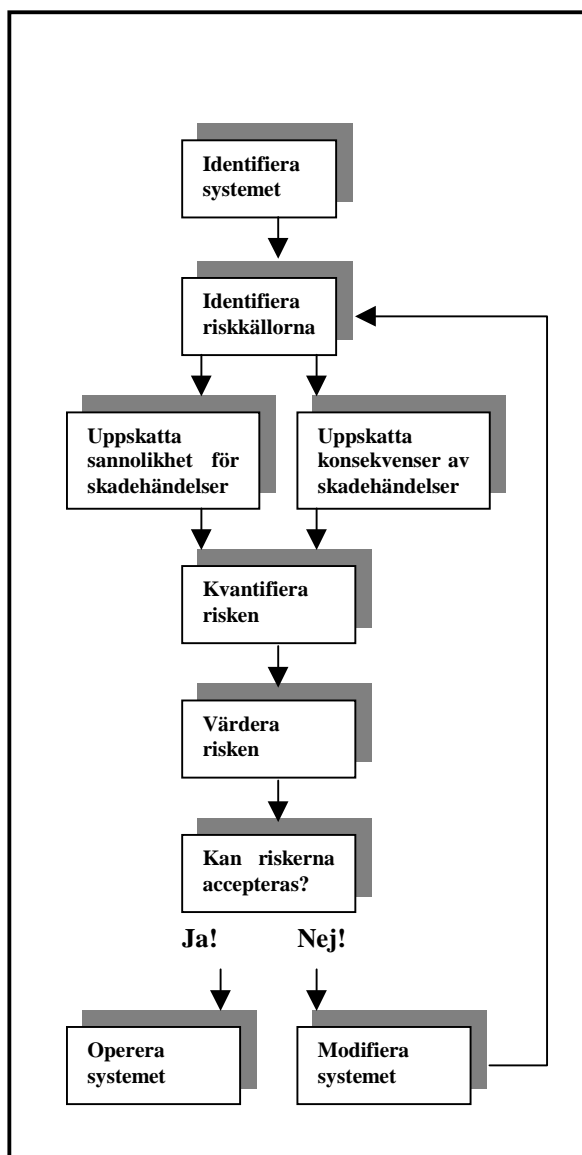
Hantering av risker kan delas in i olika steg eller faser. Benämning, kategorisering och omfattning av de olika faserna varierar i viss mån mellan olika länder och intresseområden. I det följande kommer den struktur att följas som utarbetats av International Electrotechnical Commission, IEC, (1995) och som antagits som en internationell standard⁹ (se figur 3.1). Hela processen, från att identifiera risker till att bedöma, och eventuellt åtgärda dem, benämns riskhantering. Riskhantering delas normalt in i tre faser, eller steg: riskanalys, riskevaluering (riskvärdering) och riskreduktion/kontroll (åtgärder).

Proceduren i figur 3.1 är den generella. I verkligheten ser stegen lite annorlunda ut beroende på om man t ex fokuserar på olycksrisker eller hälso- och miljörisker. Figur 3.2 och figur 3.3 illustrerar tillsammans med tabell 3.1 skillnaderna.

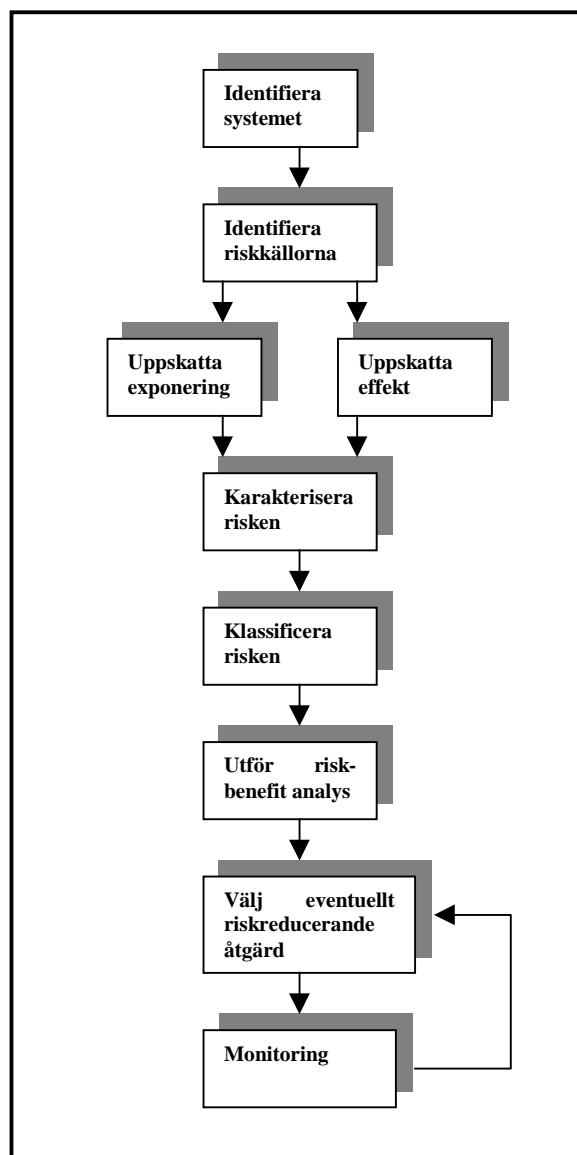


Figur 3.1 Riskhanteringsprocessen
Källa: IEC 1995

⁹ Det råder viss begreppsförvirring på området. I USA används uttrycket "risk assessment", riskbedömning, som en benämning på hela riskhanteringsprocessen. Riskmanagement har här betydelsen (riskreduktion/kontroll). Dessutom används riskhantering rent allmänt ofta synonymt med riskreduktion/kontroll vilket även förekommer i denna rapport.



Figur 3.2 Hantering av olycksrisker



Figur 3.3 Hantering av miljö- och hälsorisker från utsläpp vid normal drift

Det är tydligt att proceduren för att bedöma miljö- och hälsorisker å ena sidan och olycksrisker å den andra i stora drag liknar varandra. Båda börjar med att identifiera system och risker och slutar med att fråga sig om den risk som värderats är acceptabel eller om den skall värderas. Samtidigt är det tydligt att det existerar flera skillnader i utförandet däremellan.

Begreppen hälsorisker, miljörisker och säkerhetsrisker (olycksrisker) kan te sig något oklara, speciellt förhållandet mellan säkerhetsrisker och hälsorisker. En säkerhetsrisk kan, som vi ser nedan, påverka hälsan negativt. Vad som primärt skiljer dessa åt (med avseende på påverkan på människa) är tidsfaktorn. Emedan säkerhetsrisken härrör från en händelse med ögonblickliga konsekvenser kan hälsorisken betraktas som ett utslag av en längre process.

3.2 Riskbedömning

De två första stegen i processen riskhantering, riskanalys och riskevaluering, brukar tillsammans benämnas riskbedömning (se figur 3.1). Riskbedömningar kan ses som en process där målet är att uppskatta sannolikheten för att en händelse skall inträffa, konsekvenserna av de oönskade effekterna samt att värdera skadehändelsen. Riskbedömningar kan göras inom flera områden. Nedan följer en översikt över några av de vanligaste kategorierna och en kort beskrivning av vad som karakteriserar dem (Kolluru 1996):

1. *Olycksrisker (avser risker från tekniska system)*: Sannolikheten för att olyckor skall inträffa är låg men när så väl sker är konsekvenserna stora och av akut och ögonblicklig art. Orsaks-effektförhållandet är tydligt och lätt att identifiera. Centralt är mänsklig säkerhet och förhindrande av skada, ofta inom en arbetsplats. Underlag för mått utgörs av dödsfall, skador, förlorade arbetsdagar, egendomsskador, förlorad produktion eller försäljning.
2. *Hälsorisker*: Sannolikheten för att exponeras för skadliga effekter är hög men när så sker är själva exponeringen oftast låg till måttlig. Konsekvenserna uppträder gradvis och symptomen är fördröjda. Oftast är orsak-verkan relationen inte distinkt. Fokus är på mänsklig hälsa, huvudsakligen utanför arbetsplatsen. Måttenheter baseras bl a på cancerfall, andningsbesvär, neurologiska och reproduktiva effekter.
3. *Ekologiska/miljömässiga risker*: Effekterna är svåra att bestämma. Samverkan mellan populationer, samhällen och ekosystem på mikro- och makro-nivå är komplicerad. Stor osäkerhet råder om kausala effekter. I fokus för intresset är habitat- och ekosystempåverkan vilken kan ske långt ifrån riskkällorna. Riskmått uttrycks som habitat- och ekosystemförändringar (funktion och kapacitet) samt skador på naturmiljö.
4. *Allmän välfärd/goodwill-risker*: Avser allmänhetens uppfattning om en organisation eller dess produkter, omsorgen gäller bl a estetik, egendomsvärden och begränsningar i resursanvändning. Centralt är allmänna uppfattningar och värderingar. Riskmått kan tillhöra så vitt skilda kategorier som restriktioner i resursanvändning, luktbesvär, utsiktsförsämring, estetik och egendomsvärden.
5. *Finansiella risker*: Berör kort- och långsiktiga risker för egendomsskador eller avkastningsförluster, avkastning på miljö-, hälso- och säkerhetsmässiga investeringar. I centrum står operabilitet och finansiell livsduglighet. Riskmått baseras på ansvarsexponering och avkastning.

I tabell 3.1 görs en översikt över tillvägagångssättet för riskbedömning av säkerhet, hälsa och ekologi. Det första steget är gemensamt och går, efter att systemet avgränsats, ut på att identifiera riskkällorna och att definiera problemet.

För att bedöma riskerna mot *hälsa och miljö* fortsätter processen med bedömning av exponeringen samt en undersökning av dos-respons relationen för att fastställa förhållandet mellan omfattningen av en riskkällas exponering och sannolikheten för respons i en exponerad population. I steget riskkaraktärisering integreras bedömningen av exponering och dos-responsförhållandet till en kvantitativ uppskattning (se även bilaga 1 B).

Bedömningen av *säkerhetsriskerna* fortsätter, efter att riskkällan identifierats, med att sannolikheten för att händelser skall inträffa uppskattas (frekvensanalys) samt sannolikheten för att skadliga effekter skall äga rum och av vilken sort och styrka dessa effekter är (s k kon-

sekvensanalys). I ett sista steg utvärderas risken genom att sannolikhet och konsekvens vägs samman. Vi återkommer till metodiken i avsnitt 3.3-3.5 (se även bilaga 1 A).

Det slutliga målet med en riskbedömning är oftast att fastställa behovet av riskreducerande/kontrollerande åtgärder. För att kunna göra detta måste man vinna insikt i risker över tid och rum, identifiera de allvarligaste riskerna och bygga upp ett systematiskt ramverk för att lokalisera resurser optimalt. Enligt Kolluru (1996) är en övergripande nackdel med vetenskapliga riskbedömningar att det egentligen inte existerar någon konsensus om syfte, tillvägagångssätt eller resultatet. En orsak är bl a att data ofta är otillräckliga. Det råder också vissa trovärdighetsproblem då den finansiär som bekostar riskbedömningarna sällan eller aldrig är helt neutral till ärendet i fråga vilket kan resultera i att slutresultat inte är opartiskt.

Alla riskberäkningar karakteriseras av osäkerhet. Om osäkerhet beskrivs genom statistiska fördelningar blir beräkningarna probabilistiska. Detta gäller såväl miljö- och hälsorisker som olycksrisker. För de senare tillkommer emellertid ytterligare en grundläggande osäkerhet vad beträffar huruvida den initierande olyckan skall inträffa eller inte. I avsnitt 3.6 redogörs kort för hur osäkerheten kan analyseras.

Tabell 3.1 De större stegen i riskbedömningsprocedurerna för några vanliga risktyper
Källa: Huvudsakligen Kolluru (1996)

SÄKERHET	MÄNSKLIG HÄLSA	EKOLOGI/MILJÖ
1. Identifikation av riskkällor Material, utrustning, procedurer, t ex inventarier, storlek och läge, brandfarliga, reaktiva eller akut giftiga material och utlösande händelser t ex utrustning som slutar fungera, mänskliga fel, fel som inträffar under lagring etc.	1. Dataanalys/identifikation av riskkällor Kvantiteter och koncentrationer av kemiska, fysiska och biologiska agenter i miljömedier. Identifiering av farliga kemikalier.	1. Problemformulering (prioritering av riskkällor) Permanent och tillfällig flora och fauna, särskilt utsatta och hotade arter, undersökningar av mark och vatten, föroreningar och stressfaktorer av betydelse för det studerade området.
2. Sannolikhet/frekvens uppskattning av orsaker Sannolikhet för initierande/fortskridande händelser och olyckor av interna och externa orsaker.	2. Exponeringsbedömning Spridningsvägar, potentiella receptorer inklusive känsliga subgrupper, exponeringsförhållanden och tidsaspekter.	2. Exponeringsbedömning Spridningsvägar, naturlig vistelseplats för växter elelr djur eller receptorpopulation, särskilt skyddade arter, punktvisa exponeringskoncentrationer.
3. Konsekvensanalys Egenskaper, storleksordning och sannolikhet för skadliga effekter, t ex bränder, explosioner. Olycksartade utsläpp och akut exponering.	4. Dos-respons eller giftighetsbedömning Förhållande mellan exponering eller dos och skadliga hälsoeffekter.	3. Bedömning av toxisk effekt Luft, vatten och mark, mikrobiala tester t ex LC50-studier.
4. Riskvärdering Integration av sannolikheter och konsekvenser ger kvantitativa uttryck för säkerhetsrisker, teknisk säkerhetsrevision.	5. Riskkarakterisering Integration av toxicitet och exponeringsdata till kvalitativa eller kvantitativa uttryck för hälsorisker, osäkerhetsanalys.	4. Riskkarakterisering Integration av fältundersökningar, giftighet och exponeringsdata för att karakterisera signifikanta ekologiska risker, kausala förhållanden och osäkerhet.
TYPISKA ÄNDPUNKTER		
Dödsfall, skador, ekonomiska förluster.	Individuella och befolkningsmässiga risker för cancer och andra sjukdomar.	Ekosystem eller habitatpåverkan, t ex artmångfald och global inverkan.
TYPISKA TILLÄMPNINGAR		
Kemisk och petrokemisk processsäkerhet, transport av farligt gods, off-shore, kärnkraft, flygindustri, bärande konstruktioner.	Farliga avfallsdeponier, luft, vatten, mat, läkemedel och kosmetika. Tillståndsprövning av verksamhet eller anläggning.	Uttalande om miljömässig påverkan, bedömning av naturresursskador, lägesbestämning av anläggning, registrering av bekämpningsmedel.

Nedan görs en närmare genomgång av processen för en klassisk riskanalys vilken kan sägas motsvara de tre första stegen i tabell 3.1 ovan. Metoder för riskanalys varierar vad beträffar omfattning och djup. Vanligtvis utförs en riskanalys för att identifiera potentiella riskkällor som kan beröra människor eller ekosystem och för att skapa underlag för värdering av dessa¹⁰ (Persson 1998 & Environmental Protection Agency, EPA 1999). Som ett tydliggörande principexempel åskådliggörs nedan processen för en riskanalys i tekniska system.

3.3 Teknisk riskanalys - en internationell standard

Det första steget i en riskbedömning är själva analysdelen. Tillvägagångssättet varierar beroende på vad bedömningen avser (t ex ekologiskt eller tekniskt system, etc). Som ett exempel på hur en riskanalys kan genomföras redovisas nedan proceduren för tekniska system. Den bygger på IEC's (1995) normerande standardprocedur (se figur 3.1) och är uppdelad i sex steg. Analysen som redovisas är den fullständiga men den kan avbrytas i olika skeden beroende på vilket syfte som föreligger.

1. Definition av omfattning

I det första steget skall: a) orsakerna till analysen beskrivas, b) det system som skall analyseras definieras och avgränsas liksom; c) de tekniska, miljömässiga organisatoriska och övriga aspekter som är relevanta för problemet; d) antaganden och begränsningar som styr analysen skall fastställas och; e) de beslut som behöver tas identifieras.

2. Identifikation av riskkällor och genomförande av en initial konsekvensvärdering

I det andra steget identifieras riskkällorna och det sätt på vilket de kan utgöra hot¹¹. En initial konsekvensvärdering görs av den signifikans de olika riskkällorna har. Syftet är att besluta om a) åtgärder skall utföras på den här nivån för att eliminera eller reducera faran; b) om analysen skall avslutas på g a att riskkällorna är insignifikanta eller; c) om man skall fortsätta med nästa steg. Den initiala konsekvensvärderingen kan även betraktas som ett urval av vilka scenarier som är intressanta och som man bör se närmare på. Bedömningen är av kvalitativ art och en kvantitativ analys görs bara av de största riskkällorna.

De vanligaste metoderna för riskidentifikation kan delas in i tre områden (Nicolet-Monnier 1996):

- Komparativa metoder (process/system-checklistor, säkerhetsgranskning/översyn, index-metoder för relativ rangordning and preliminära analyser av riskkällor).
- Fundamentala metoder ("Hazard and operability studies", "What if?-analyser", "Failure mode effect and criticality analysis" och "Goal oriented failure analysis").
- Logiska diagram metoder (felträdsanalys, händelsetråd, analys av mänsklig tillförlitlighet, and "system success trees").

3. Riskuppskattning

I en riskuppskattning bedöms de initierande händelserna, följden av dem, skadereducerande inslag och hur frekvent de skadliga konsekvenserna inträffar. Syftet är att kvantifiera riskuttrycket $d v s$ Kaplans (och Garrick)¹² (1997) uttryck $R = \{<S_i, L_i, X_i>\}_c$ så som det beskrevs i avsnitt 2.2.1. Uppskattningen görs i tre steg.

¹⁰ För att senare eventuellt besluta om åtgärder

¹¹ Den engelska benämningen är Hazard analysis. En annan svensk benämning är faroanalys

¹² Begreppet har myntats tidigare tillsammans med B.J. Garrick

I det *första* steget görs en frekvensanalys. Syftet med *frekvensanalysen* är att bestämma hur ofta de oönskade effekterna som tidigare identifierats inträffar. Tre grundläggande tillvägagångssätt föreligger:

- Se till historiska data.
- Förutse frekvensen genom att använda tekniker som felträdsanalys och händelsetråd.
- Förlita sig på expertbedömningar vilket innebär att subjektiva element infogas i bedömningen.

I det *andra* steget analyseras konsekvenserna på människor, egendom, etc mer i detalj. *Konsekvensanalysen* baseras på de oönskade händelser som bedömts som intressanta och syftar till att beskriva de effekter som kan härledas till dessa företeelser. Det är angeläget att överväga såväl direkta konsekvenser som sådana som kan uppstå på längre sikt. Slutligen bör man fundera på sekundära konsekvenser. Analysen kan göras kvantitativt (genom beräkningar) eller kvalitativt (genom subjektiva bedömningar). Ändamålet kan vara att t ex uppskatta det antal människor som är lokaliserade i olika miljöer, på olika avstånd från riskkällan och som dödas, skadas eller på annat sätt berörs negativt.

I riskuppskattningens *sista* steg undersöks sannolikheten för att riskkällan skall orsaka det oönskade händelseförloppet - scenariot. Risken kan därefter, som tidigare redogjorts för, uttryckas på flera sätt. Med utgångspunkt ur Kaplan (& Garricks) riskdefinition (tripplettrycket ovan) är det t ex möjligt att redovisa risken som en riskprofil (se avsnitt 2.2.1).

Viktigt i det här steget är att fastslå huruvida riskuppskattningen reflekterar hela risken eller endast en del av den. Osäkerheten är ofta stor i beräkningarna. En osäkerhetsanalys kan användas för att bestämma variationen eller graden av noggrannhet i resultatet från modellerna.

4. Verifikation

En formell utvärdering bör utföras av någon utanför projektet för att bekräfta analysens integritet. Man bör kontrollera att avgränsningen som gjorts är den rätta m h t målet och gå igenom alla kritiska antaganden för att försäkra sig om att de är trovärdiga. Vidare bör bekräftas att analysen använder de för ändamålet rätta metoderna, modellerna och data och undersöka om utredningen går att utföra av andra än de som ursprungligen gjort den.

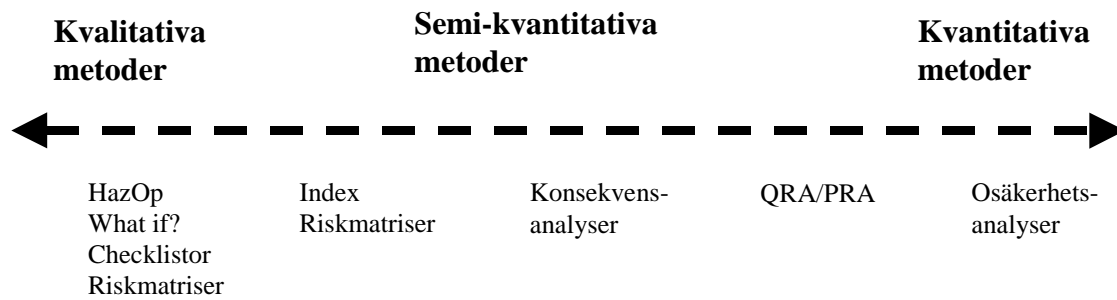
5. Dokumentation

Riskanalysprocessen bör dokumenteras. Styrkor och svagheter med olika riskmått skall förklaras och osäkerheterna kring riskuppskattningarna uttryckas på ett sätt så att den tilltänkte läsaren förstår vad som menas.

6. Uppdatering av analysen

Om riskhanteringsprocessen är kontinuerligt pågående bör analysen utformas på ett sådant sätt att den kan uppdateras genom systemets, händelsens eller aktivitetens livscykel. Vilka metoder man beslutar sig för att använda beror t ex på vilken fas systemet befinner sig i, målet med studien, hur allvarlig risksituationen är etc¹³.

¹³ En genomgång av problemet med riskanalysens praktiska användning skedde i ”Co-operative Nordic risk Research” (Magnusson m fl 1999). Rapporten som utgör ett förslag till samordnad nordisk riskforskning, analyserar svårigheterna sett från industrins, myndigheternas och allmänhetens synvinkel



Figur 3.4 spektrat av olika riskanalysmetoder med hänsyn till graden av kvantitativa och kvalitativa inslag.
Källa: Olsson 1999

Ovan har, vilket tidigare påtalats, redogjorts för hur en riskanalys av ett tekniskt system utförs enligt internationell standard. Eftersom man i riskbedömningar granskar olika typer av risker har det utvecklats flera olika analysmetoder med varierande utformning och ändamål. För varje typ av risker finns emellertid specifika definitioner, strukturer, beräkningsmodeller och sätt att uttrycka slutresultatet i tillämpliga fall. Det är därför inte möjligt att ge någon strukturerad och lättöverskådlig modell för hur alla riskanalyser utförs. Ett sätt att dela in riskanalyser är dock efter grad av kvantifierbarhet. Grovt sett kan analyserna kategoriseras som kvalitativa, semi-kvantitativa eller kvantitativa (se figur 4.1). I avsnittet nedan görs en översikt av de olika metoderna med hänsyn till om de är kvalitativa, semi-kvantitativa eller renodlat kvantitativa.

3.4 Praktiska tillvägagångssätt vid utförande av en teknisk riskanalys

3.4.1 Kvalitativa metoder

Kvalitativa metoder används främst för att identifiera risker. De är alltså mest tillämpliga i den första delen av riskanalysen (se avsnitt 3.3). De kvalitativa metoderna är anpassade för olika verksamhetstyper och syftet är främst att ge beskrivningar av skeenden vid olika förutsättningar. De mått som ibland ändå används för att bedöma riskkällans risknivå är oftast ordinala, d v s en kvalitativ rangordning av typen stor, liten etc. Inte sällan är syftet att jämföra risker med varandra. Även om sannolikhet och konsekvens inte formuleras explicit kan de ibland ändå uppskattas grovt. Typiska metoder är grovanalysmetoder, checklistor och riskmatriser med ordinal skala.

HazOp står för "Hazard and operability studies". Metoden utvecklades för att identifiera orsakerna till att kvalitets- och produktivitetsmål inte uppnås i en processanläggning. Med hjälp av ledord skall en analysgrupp försöka urskilja tänkbara avvikelser i processen. Gruppen skall försöka granska orsakerna till avvikelserna men även de följdverkningar de kan föra med sig. Metoden sträcker sig längre än den vanliga riskanalysen och är särskilt användbar vid planläggningen av en ny process.

"*What if?*"-analyser identifierar riskkällor genom att värdera konsekvenserna av oplanerade händelser i det studerade systemet. Man försöker analysera tänkbara avvikelser från den planerade funktionen och driften i systemet genom att ställa "vad händer om...?"-frågor. Till sin hjälp tar man erfarenhetsbaserad kunskap. Metoden tillämpas vanligtvis för att värdera riskerna i samband med planerade förändringar av en process. Resultaten är kvalitativa och redovi-

sas i tabeller över möjliga skadeförlopp och följdverkningar tillsammans med förslag på riskreducerande åtgärder.

Checklistor bygger på erfarenhet och används för att identifiera kända typer av riskkällor och som kontrollinstrument för att se till så att vedertagna standardförhållanden tillämpas. Medan de detaljerade checklistorna tenderar att fokusera på processen och den specifika anläggningen ser de mer allmänna listorna till egenskaper hos de ämnen som hanteras och yttre störningar.

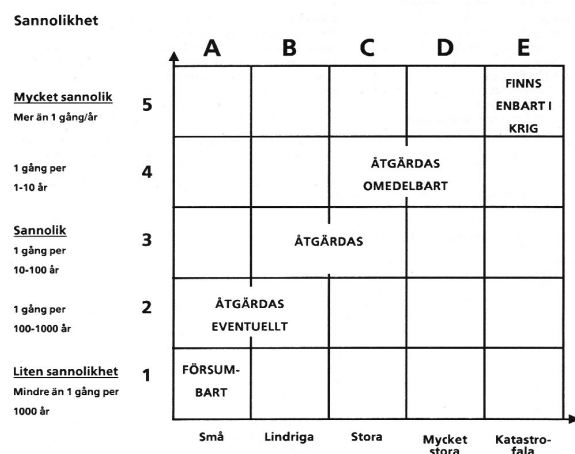
Grovanalysmetoder används för att identifiera riskkällor i tekniska system utan att hänsyn tas till detaljerna. Syftet är att skaffa sig en grov uppfattning om vilka system som kan medföra allvarligare risker. Där stora risker indikeras kan det ofta vara lämpligt att komplettera analysen med en mer detaljerad arbetsmetodik. Grovanalysen används ofta i ett tidigt skede i planeringsarbetet och kan användas som en första analys av riskkällorna i befintliga system. Genom att låta personer med erfarenhet av de föreliggande förhållandena intuitivt gradera sannolikhet och konsekvens på en skala och sammanställa uppskattningarna erhålls en erfarenhetsbaserad värdering av riskerna, t ex i form av en riskmatris.

Riskmatriser har ett stort användningsområde och kan vara av kvalitativ eller kvantitativ art (se fig 2.5). Ett exempel på riskmatriser med ordinala skalor är Zürich Hazard Analysis, ZHA. Olika typer av händelser inventeras och sätts sedan in i en matris där ena axeln visar tänkbara frekvensen av händelsen (ofta, aldrig etc) och den andra axeln visar konsekvensernas omfattning (försumbar, katastrofal etc). Speciellt för ZHA är inslaget av *fuzzy logic*, vilket gör det möjligt att göra mjuka övergångar mellan strikta klassificeringar och ta hänsyn till olika mått. På så vis går det att inkludera alla typer av riskkällor i en bedömning.

3.4.2 Semi-kvantitativa metoder

De semi-kvantitativa metoderna är mer detaljerade i sin uppbyggnad och innehåller till viss del mått på konsekvenser och sannolikheter för att en oönskad händelse skall inträffa. Måtten behöver inte vara exakta utan kan beteckna storleksordningar för att kunna rangordna och jämföra olika alternativ förenade med olika risker.

Till de semi-kvantitativa metoderna kan bl a räknas riskmatriser med mer kardinala mått på axlarna än de kvalitativa riskmatriserna (se figur 3.5). Ett annat tillvägagångssätt för att preferensrangordna riskkällor bygger på framställning av ett riskindex. För att t ex rangordna och jämföra olika riskreducerande alternativ eller för att jämföra olika systemutformningar med hjälp av ett index används ofta s k multiattributmetoder eller MADM-metoder (se kapitel 6 och 7).



Figur 3.5 Exempel på en semi-kvantitativ riskmatris
Källa: Räddningsverket 1989

3.4.3 Kvantitativa metoder

De kvantitativa riskberäkningarna varierar i utformning beroende på om uppskattningen avser olycksrisker (akut och olycksartad exponering) eller exponering för farliga ämnen härstammande från normala processer eller rutinartad drift (se avsnitt 3.5). Gemensamt för alla är emellertid att kvantitativa riskberäkningar baseras på oundvikliga osäkerheter i bl a beräkningsmodeller och indata. Dessa osäkerheter fortplantas genom beräkningarna och ger en motsvarande osäkerhet i slutresultatet. Vid en deterministisk riskberäkning väljs representativa värden, t ex 80% eller 95 % fraktil o s v, som ingångsvärde och slutresultatet blir en punktuppskattning av skadans storlek som förväntas vara konservativ, d v s ligga på säkra sidan. Vid en probabilistisk riskberäkning fortplantas den fullständiga fördelningen av osäkerheter genom systemet och slutresultatet blir en fördelningsfunktion över skadans storlek. Det existerar ett antal analytiska och numeriska metoder för att fortplanta osäkerheter genom en beräkningsmodell och litteraturen på området är omfattande. Beskrivs exempelvis osäkerheten i en parameter genom en diskretiserad fördelning kan beräkningen struktureras som ett händelsetråd och slutresultatet redovisas som en diskret fördelning i form av en riskprofil (se avsnitt 2.2.1). Osäkerhetsanalysen berörs något i avsnitt 3.6.

QRA, quantitative risk analysis, är en metod som har en lång historia inom processindustrin (Einarsson 1999). Med en QRA försöker man kvantifiera riskerna som existerar på en anläggning och som riktar sig mot människor inom eller utanför anläggningen. Mått på risk för såväl individen som samhället beräknas (se bilaga 1 A). *PRA, probabilistic risk analysis*, har bl a använts inom kärnkraftsindustrin. Den påminner om QRA men är mer detaljerad. I en PRA försöker man mer grundligt undersöka de utlösande faktorerna och lägger ner mer arbete på händelse- och felträdsanalyser.

3.5 Olycksrisker – övriga typer av risker

Om vi betraktar miljö- och hälsorisker till följd av exponering för kemikalier eller andra farliga ämnen med ursprung i normal drift av en verksamhet så undersöker man situationen där sannolikheten för exponering = 1. Beträffande olycksrisker har vi komplikationen att beräkningarna måste baseras på en sannolikhet att riskkällan överhuvudtaget skall aktiveras. Sannolikheten för olycksartat utsläpp av viss typ från en processanläggning kan t ex vara i storleksordningen $10^{-4} - 10^{-6}$ / år och tillförlitligheten i slutresultatet är helt beroende av tillförlitligheten i denna uppskattning av sannolikheten. En konsekvens är att beräkningarna får en annan struktur. Oftast kan beräkningsgången illustreras av ett händelsetråd och slutredovisas som en riskprofil.

Osäkerheter vid olycksrisker påverkar beräkningarna på flera fundamentala sätt. Förutom osäkerheter i modeller och indata tillkommer osäkerheter i sannolikheter att den initiala händelsen skall äga rum. I bilaga 1 A och B redovisas närmare för tillvägagångssättet för beräkning av olycksrisker och bedömning av hälso- och miljörisker och där utsläppet ägt rum under normala driftsförhållanden.

3.6 Något om osäkerhetsanalys – kvalitetssäkring av riskanalys

Det centrala och allt överskuggande problemet vid användning av semikvantitativa riskanalyser gäller osäkerhetsanalyser; Identifiering av olika typer/kategorier av osäkerhet; kvantifiering av osäkerheterna; behandlingen av osäkerhet; den kvantitativa beräkningsprocesserna; presentationen av resultatet av osäkerhetsanalysen; inverkan på den fortsatta beslutsprocessen, ex vis val av acceptabel risk. Litteraturen på området är mycket omfattande och omöjlig att

sammanfatta i en översikt av denna typ. Vi kan här presentera endast några inledande exempel på arbeten. "Bibeln" på området är skriven av Morgan och Henrion (1990). I en publikation från 1995 beskriver Magnusson m fl för ett specifikt riskbedömningsproblem (utrymning vid brand) användning av ett antal generella metoder för simulering och analys av osäkerheter:

1. Säkerhetsindex β metoden byggd på en lineariserad analytisk beskrivning av ett gränstillstånd och säkerhetsnivån beräknad med utgångspunkt från ett antal ingående statistiska parametrar beskrivs av sina första två moment (medelvärde och standardavvikelse).
2. Enkel Monte Carlo simulering av standardtyp.
3. Tvåfas Monte Carlo simulering byggd på separation av stokastisk osäkerhet och kunskapsosäkerhet.
4. Evaluering av händelseträdd via standardiserad, "deterministisk" PRA.
5. Händelseträddevaluering via Monte Carlo simulering

I Paté-Cornell (1996) redovisas på ett liknande sätt sex nivåer att behandla och presentera osäkerheter samt att länka respektive nivåer till olika riskhanteringsstrategier. Begrepp som kvalitet och kvalitetssäkring av riskanalyser är starkt länkade till omfattning och kvalitet av känslighets- och osäkerhetsanalys.

3.7 Riskevaluering

Då riskanalysen genomförts och risken identifierats och uppskattats kan den värderas (se figur 3.1). Syftet med detta är att fråga sig om den aktuella risken är acceptabel och/eller vilka alternativ som föreligger. Det beslut som fattas vilar på en värdering av riskernas signifikans (Davidsson m fl 1997). Generella riskkriterier och principer används för att underlätta värderingen. Kriterierna skall spegla de allmänna uppfattningarna och samtidigt inta en objektiv ståndpunkt så att så många intressen som möjligt tillgodoses. Detta kräver goda kunskaper om verksamheten, riskerna och riskvärderingen (ibid).

Davidsson m fl (1997) identifierar fyra principer som kan användas som utgångspunkter vid värdering av risker¹⁴:

- *Rimlighetsprincipen* innebär att om de risker som en verksamhet medför kan undvikas med rimliga medel bör så ske.
- *Proportionalitetsprincipen* hävdar att riskerna med en verksamhet inte bör vara oproportionerligt stora i förhållande till fördelarna med den.
- *Fördelningsprincipen* säger att riskerna skall vara skäligt fördelade i samhället i förhållande till de fördelar som verksamheten medför.
- *Principen om undvikande av katastrofer* innebär att det anses bättre att en eventuell risk realiserar genom en olycka med begränsade konsekvenser än i en katastrof.

Även följande tre stolpar, som delvis sammanfaller med punkterna ovan, är viktiga att beakta (Davidsson m fl 1997):

- Samhällets strävan efter en kontinuerlig förbättring av säkerhetsnivån skall understödjas.
- Kriterier skall vara praktiskt tillämpbara med hänsyn till vedertagna riskanalysmetoder.
- Kriterier skall bidra till en kostnadseffektiv användning av resurser för riskreducerande åtgärder.

¹⁴ Vi gör här endast anspråk på att ge en översikt över några av de principer som förekommer. Det är viktigt att poängtera att det finns flera andra, bl a försiktighetsprincipen som säger att misstanken om skadlig påverkan är tillräcklig för att avstå från en viss verksamhet.

För att vara praktiskt användbara måste principerna omvandlas till kriterier som kan användas för att ta beslut. Sådana kriterier kan vara deterministiska, probabilistiska, syfta till jämförelse med andra risker, förespråka skyddsavstånd, förorda regler och normer eller bygga på subjektiva riskvärderingar. De deterministiska ser till konsekvenserna vid en specifik olycka. *Värsta tänkbara skadehändelse* och *dimensionerande skadehändelse* är exempel på två vanliga deterministiska principer. Probabilistiska metoder fokuserar på sannolikhet för en given konsekvens. Exempel på sådana kriterier utgår bl a ur individuella risker och samhällsrisker (se bilaga 1 A).

3.8 Riskreducerande/preventiva åtgärder

De riskreducerande åtgärderna tar vid efter det att det sista steget i en riskbedömning utförts. Fasen är en beslutsprocess i vilken åtgärder eller förhållningssätt formuleras för att möta en risk som har värderats som icke acceptabel. Det har inte visat sig möjligt att upprätta några strikta riktlinjer för hur en risk skall behandlas utan varje situation kräver sin egen lösning. Däremot är det möjligt att identifiera några generella principer och strukturer för det sätt på vilket risker vanligtvis hanteras i samhället.

IAEA m fl (1998) identifierar tre principer enligt vilka risker åtgärdas:

- *Preventiva förfaringsätt* - vilket kan innebära att risken förhindras uppstå vid källan genom att alternativa tekniker/processer används istället för de pågående, att särskilda transportvägar upprättas eller att de medel som står till buds inom de fysiska planprinciperna används.
- *Skadereducerande åtgärder* - för att redan vid källan reducera sannolikhet och konsekvens vid en inträffad olycka. Även här kan den fysiska planeringsprocessen vara ett användbart instrument.
- *Akut beredskap* - välutbildad akutservice kan vid akuta olyckor reducera antalet olycksdrabbade.

Davidsson m fl (1997) identifierar fyra huvudprinciper enligt vilka risker åtgärdas i Sverige och som delvis sammanfaller med IAEA's indelning:

- Inbyggd säkerhet vilket innebär att potentiella riskkällor *elimineras*.
- Olycksförebyggande åtgärder som *reducerar sannolikheten* för att händelsen skall inträffa.
- Preventiva skadebegränsande åtgärder som *reducerar konsekvenserna* av en olycka innan den inträffat.
- Akuta skadebegränsande åtgärder vilka *reducerar konsekvenserna* av en olycka när den inträffat.

Tendensen är att de preventiva åtgärderna används i allt större omfattning i förhållande till "end of pipe control" för att reducera mänskliga och miljömässiga risker, d v s ett proaktivt förhållningssätt föredras. Exempel på sådana åtgärder är substitution av råvaror, förändringar i produktionsprocessen etc. Många företag har även börjat integrera de riskreducerande åtgärderna i sitt långsiktiga strategiska tänkande. På så vis kommer riskreduktionen in i produktutformningen, marknadsföringen och bokföringen såväl som produktionssidan.

Utformningen av de riskreducerande åtgärderna är till stor del också beroende av de nationella och internationella regelsystem och politiska strategier som finns i de olika länderna. Samhällets värderingar och det demokratiska systemet avgör vilka avvägningar som är de "rätta"

(ACS 1998). Detta kommer till uttryck bl a genom regleringar, påbud, tillstånd och information för att skydda samhällets invånare och den naturliga miljön (Kolluru 1996). Många risker hanteras inom den fysiska planeringen. Målet är att styra användningen av mark och vatten så att risker undviks i största möjliga mån. Det är vanligt förekommande, bl a i Holland, att de kvantifierade riskerna, uttryckta i t ex individuella riskkonturer, styr markanvändningen efter olika kriterier.

Kolluru (1996), bland många andra, identifierar några *sociala* principer som styr beslutsfattandet och beskriver samtidigt vilka problem de kan föra med sig:

- *Skarpa gränser* med vilket menas att den acceptabla risken uttrycks som ett numeriskt värde. Om det aktuella riskvärdet överskrider det acceptabla vidtas åtgärder. Metoden har fått kritik för att den ignorerar många viktiga sociala och vetenskapliga faktorer.
- *Att ta itu med de största riskerna först* kan te sig problematisk då det långt ifrån är säkert att dessa risker kan åtgärdas på ett enkelt sätt. Kolluru nämner som exempel att folk i allmänhet inte är benägna att sluta köra bil för att minska utsläppen av kolväten m m. Somliga menar därför att inriktningen istället borde vara att prioritera de *största möjligheterna* för riskreduktion.
- *Cost-benefit analysen* blir allt populärare samtidigt som röster hörs för att den i för liten grad tar hänsyn till att alla faktorer inte är så lätta att kvantifiera.
- *Största möjliga nytta för det största antalet.*
- *Miljömässig jämlikhet* är ett försök att se till så att vissa samhällsmedborgare inte bär en oproportionerligt stor börda av de miljömässiga riskerna. Denna princip löper emellertid ofta risken för att komma i konflikt med principen att göra största möjliga nytta för flertalet.

Det finns m a o inga enkla lösningar för att reducera risker i samhället. Situationerna ter sig istället oftast konfliktfyllda då flera intressen står emot varandra. I avsnitt 9.3 och 11.3 redovisas metoder för hur olika åsikter kan samordnas till en gemensam strategi och forma beslut som en majoritet kan ställa sig bakom. I avsnittet nedan redogör vi för hur IRRASM har vuxit fram som ett svar på behovet av bredare riskbedömningsmetoder och vad uttrycket egentligen representerar.

4 IRRASM – en rumslig integrativ ansats

4.1 Bakgrund, historik

Behovet av ett integrativt tillvägagångssätt för att hantera risker blev allt mer påtagligt under 1970- och 80-talen. Orsakerna var flera. Effekterna började synas av den, sedan några decennier tillbaka, eskalerande användningen av kemikalier i produktion och jordbruk. Synergi- och spridningseffekter mellan olika verksamheter blev alltmer uppenbara. Det intensivare transportarbetet av bl a farligt gods ökade på vägarna vilket ledde till att fler olyckor inträffade, med risk för läckage av skadliga ämnen och med fara för såväl ekologiska system som hälsa.

Myndigheter i olika länder insåg snart behovet av en samlad risksyn. Riskbedömningar vid transport av farligt gods blev en föregångare för en mer integrativ ansats, spridningsmodeller anpassade för utsläpp från fasta anläggningar en annan. En pådrivande kraft utgjordes av olika internationella organisationer som IAEA, FN, WHO men också myndigheterna i tätbefolkade industriländer som Schweiz och Holland.

4.1.1 Inter-Agency Programme on the Assessment and management of Health and Environmental Risks from Energy and Other Complex Industrial Systems

1986 initierade International Atomic Energy Agency (IAEA), the United Nations Environment Programme (UNEP), Awareness and Preparedness for Emergencies at Local Level (APELL), United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) och World Health Organization (WHO) ett samarbete, *The Inter-Agency Programme on the Assessment and management of Health and Environmental Risks from Energy and Other Complex Industrial Systems* för att försöka föra fram en integrativ, rumsbaserad risksyn (IAEA 1998). Ambitionen var att samla kunskaper från olika fält om hur risker kan bedömas och hanteras i stora industriella regioner och att sprida denna kunskap vidare.

En orsak till att man fastnade för det regionala perspektivet var att man på den här nivån ansåg sig kunna identifiera flera intressekonflikter. I ett regionalt perspektiv eftersträvas å ena sidan ekonomisk och social utveckling, industrialisering och utbyggnad av infrastrukturen. Å andra sidan vill man försäkra sig om att mänsklig hälsa och de ekologiska systemen inte äventyras. Särskilt tre punkter ansågs angelägna att beakta vid beslutsfattande som får regionala konsekvenser:

- Behovet av att allokera resurser optimalt i hanteringsprocessen. M a o hur kan man med minsta möjliga medel åstadkomma största möjliga nytta för flertalet?
- Betydelsen av att alla riskelement omfattas.
- Vikten av att integrera alla element som är tillgängliga i hanteringsstrategin: d v s tekniska, juridiska, sociala, ekonomiska och lägesmässiga aspekter.

Ett resultat av programmet blev en uppsättning guidelines med syfte att tillhandahålla praktisk vägledning för genomförande av integrerad riskbedömning avseende hälsa och miljö och för att formulera och implementera strategier för att hantera riskerna i en region.

Integrativ riskbedömning baseras på att alla hälso- och miljömässiga risker inom ett område systematiskt identifieras, analyseras och bedöms på ett sådant sätt att sociala och ekonomiska aspekter vägs in. Integrativ hantering bygger på att alla möjligheter att hantera risker: preven-

tiva, skadereducerande, lägesmässiga, skyddande, förebyggande och institutionella utforskas så att resurserna utnyttjas mest effektivt (IAEA 1998).

För att en integrerad riskanalys skall leva upp till sitt namn bör den omfatta alla risker i en given area. Detta kan emellertid visa sig mycket svårt varför det ofta blir nödvändigt att göra vissa avgränsningar. IAEA's guidelines behandlar främst risker som härstammar från emissioner men strategin torde kunna överföras till att omfatta flera andra risktyper.

IAEA m fl (1998) anser att ett viktigt mål i processen är att beslutsfattandet dokumenteras väl och är transparent så att allmänheten får insikt i vilka risker de är utsatta för och hur dessa risker har bedömts. En sådan inblick, anser man, ökar möjligheterna för en konstruktiv dialog mellan allmänheten och myndigheterna. Man formulerade därför, som en del av handledningen, ett arbetsschema i fyra steg enligt nedan för en integrativ riskprocess:

1. Börja med att upprätta en databas för det studerade området och fastställ vilka prioriteringar som bör göras samt vilka aktiviteter som skall analyseras. Häri inkluderas att avgränsa det studerade området, identifiera markanvändningen och de aktiviteter som bör prioriteras för analyser och att fastställa miljömässiga och säkerhetsrelaterade nyckelfrågor.
2. Utför hälso- och miljömässiga riskanalysstudier. Detta innebär kvantifierad riskanalys för större olyckor, analys av kontinuerliga utsläpp och kvantifiering av miljömässig påverkan från utsläpp i olika medier, analys av farligt avfall samt analys av transportrelaterade risker.
3. Upprätta därefter infrastrukturella och organisatoriska säkerhetsanalyser. Häri inkluderas analys och värdering av akuta planeringsåtgärder, inräknat förebyggande skyddsåtgärder såväl på anläggningen som utanför; övervakning av infrastruktur i området och översyn och analys av institutionell och regelmässig försörjning.
4. Formulera slutligen integrativa hanteringsstrategier i förening med åtgärdsplaner. Detta innebär att cost-benefitanalyser utförs för olika risktyper och att prioriteringslistor för verkställande åtgärder upprättas. Komponenterna i riskhanteringsstrategin bör täcka in tekniska, operationella, organisatoriska och lägesmässiga aspekter.

En integrativ rumsbaserad riskbedömningsprocedur innebär många olika aktörer. Detta ställer höga krav på projektbeskrivning och organisatorisk struktur (IAEA m fl 1998). Då de komplexa problemen kan beröra frågor som är politiskt och socialt känsligt är det också viktigt att bedömningarna, och de eventuella åtgärderna, utförs med omsorg. Osäkerheten i slutresultatet kan vara stor till följd av att många antaganden behöver göras och resultatet måste därför tolkas med försiktighet. En integrativ regional studie i en större industrialiserad region bör därför följa en viss process för att garantera en metodologisk och effektiv process. IAEA (1998) ger förslag på hur den *organisation* som är ansvarig för processen kan/bör byggas upp i sex steg enligt nedan:

1. Formulera mål, upprätta en projektplan och identifiera de resurser som behövs.
2. Se till så att alla relevanta industriella organisationer och myndigheter inbegrips i strukturen.
3. De deltagande organisationerna skall upprätta en styrandekommitté och dess ansvar skall fastställas. En genomförandekommitté skall också utformas vilken har till uppgift att ansvara för verkställandet av projektet.
4. Genomförandekommittén skall formulera projektförslag för en detaljerad arbetsplan och etablera arbetsgrupper för att utföra olika analyser inom projektet.
5. Genomförandekommittén skall så småningom också granska arbetsgruppernas slutliga resultat och förbereda en skrivelse med slutsatser och rekommendationer.

6. De deltagande organisationerna skall erhålla rapporterna och diskutera resultatet
7. Ge rekommendationer om eventuella förändringar i policy som skall genomföras samt förslag på vilka av de föreslagna åtgärderna som skall utföras.

Det är viktigt att genomförandekommittén på ett tidigt stadium beslutar sig för hur studiens omfattning skall avgränsas. Vilka risktyper, vilka metoder och vilka data som skall användas bör definieras. De deltagande organisationerna bör väljas ut efter målet med studien, vilken kunskap som erfordras och hur ansvaret är lagstadgat. Det integrativa synsättet kräver samarbete mellan flera olika myndigheter. Dock bör en begränsning göras av de deltagande organisationerna med direkt deltagande och ansvar för att det inte skall uppstå dålig ordning.

De grunder på vilka ett område avgränsas i en studie varierar från fall till fall. IAEA ger några råd om hur avgränsningar bör göras utifrån kunskaper om spridning av föroreningar i olika medier:

- Området bör väljas för sina fysiska och industriella/ekonomiska karakteristika och i mindre grad utifrån administrativa och nationella gränser.
- Strikta gränser bör inte dras förrän den inledande analysen av farorna färdigställts.
- Några riskkällor har en potential att påverka området utanför det avgränsade. I de fall där så är behövligt bör dessa uppmärksammas i analysen.
- Samhällsaspekter måste också uppmärksammas.

Inom det avgränsade området skall alla riskkällor försöka identifieras. Riskkällor kan med avseende på emissioner, vilket tidigare påpekats, delas in i två huvudkategorier: 1) De med ett olycksmässigt förlopp och; 2) De som kan inträffa under normal operativ verksamhet. Effekterna kan därefter delas in i underkategorier så som akuta olycksfall, långsiktiga hälsoeffekter, egendomsskador och olika biofysiska skador som kan uppstå via olika medier.

De grundläggande principerna för inledande identifiering av riskkällor och prioritering av de aktiviteter som skall undersökas djupare består i:

1. Val av vilka större aktiviteter som skall analyseras baseras på den kvantitet farligt ämne som hanteras, lagras eller transporteras. Kriteriet för kvantiteterna kan baseras på EU-direktiv eller andra tröskelvärden.
2. Prioritering av aktiviteter för fortsatt analys grundat på det rumsliga förhållandet mellan de riskfyllda aktiviteterna och befolkade områden. Här kan man antingen använda en distans – kvantitetstabell eller ett faroindex.

Vidare undersökning kan visa att vissa riskkällor är oacceptabla. För sådana aktiviteter kan åtgärder föreslås utan fördjupade studier. Nästa steg är annars att uppskatta vilka resurser som krävs för att närmare studera varje aktivitet. En sådan värdering används som grund för att upprätta prioriteringsordningen. Därefter kan arbetsscheman utarbetas, de behövliga resurserna anskaffas och den slutliga projektplanen ritas upp. Det är viktigt att de risker som rangordnas lågt på prioriteringslistan inte glöms bort utan att en anmärkning görs för eventuellt framtida åtgärdande.

IAEA m fl (1998) presenterar vidare några skilda förfaringsätt att utföra analyser beroende på vilka riskkällor som står i fokus. De riskkällor som behandlas är *kontinuerliga utsläpp från fasta anläggningar*, *olycksmässiga utsläpp från fasta anläggningar*, *risker med transport av farligt gods* och *farligt avfall*. Hur omfattande den integrativa ansatsen är jämfört med traditionella analyser varierar. Riskanalyser som fokuserar på olycksmässiga utsläpp från fasta anläggningar har redogjorts för i avsnitt 3.3. Risker som härstammar från kontinuerliga emis-

sioner riktar sig främst mot hälsa och ekologiska system vilket översiktligt redovisats i avsnitt 4.3 och mer i detalj i bilaga 1 B. Risker med transport av farligt gods är en föregångare för integrativ rumslig riskbedömning och behandlas i avsnitt 11.2.2. Riskanalys av farligt avfall tenderar att bli alltmer angeläget i samhället då: 1) Blandningen av olika ämnen (och därmed effekterna) blir allt mer omfattande vilket gör att; 2) Spridningen är viktig att fastställa. Analys av farligt avfall behandlas närmare i avsnitt 11.2.6.

IAEA med fleras (1998) arbete har utgjort en viktig beståndsdel i utvecklingen av en integrativ rumsbaserad risksyn. Nedan redovisas ett annat viktigt projekt, *The polyproject on risk and safety of technical systems* vilket initierades av de federala myndigheterna i Schweiz och som mer eller mindre ledde fram utvecklingen av den integrativa regionala ansatsen till begreppet IRRASM och vad det representerar.

4.1.2 The polyproject on risk and safety of technical systems

The Swiss Federal Institute of Technology i Zürich startade projektet, *The Polyproject on Risk and Safety of Technical Systems* för att försöka besvara de frågor som kvarstod efter Inter-Agencyprogrammets slut. Vad är integrerad regional riskbedömning och riskhantering? Hur skall en region avgränsas? Vilka aktiviteter och objekt är riskutsatta? Vilken är omfattningen och målet? Vilket behov finns av riskindikatorer och en omfattande metodologi?

Gheorghe (1995) hävdar att det tillvägagångssätt som utvecklades i The Polyproject on Risk and Safety of Technical Systems skiljer sig från Interagencyprogrammets så tillvida att det är uppgiftsorienterat istället för problemlösande. I Polyprojektet utformades handledning för implementering av en integrerad strategi genom att uppgifter identifierades (för alltifrån organisation till värdering och dokumentation) och integrerades till ett omfattande och systematisk angreppssätt. Flera handlingsplaner upprättades för att beskriva arbetsgången. Gheorghe (1995) menar att de problemlösande ansatserna hade en för global ansats vilket gjorde att de inte kunde stödja en analytiker på ett systematiskt sätt. Den uppgiftsbaserade metoden ger å andra sidan inte bara möjligheter till en systematisk analys av problemen för en specifik region utan också flexibilitet i implementeringsstadiet.

Gheorghe listar några viktiga ”lärdomar” som polyprojektet lärde de inblandade parterna om regional riskbedömning:

- Det är viktigt att inte tillvägagångssättet är för förenklat.
- Man bör inte försöka utesluta politiskt engagemang eller folklig inblandning i något steg. Uppmaningen är att utveckla en risktrippel: *säkerhetskultur, miljömässig medvetenhet och kriskultur*
- Ett starkt och interaktivt managementramverk behöver etableras för projektet redan från starten.
- Legala spörsmål på såväl lokal som nationell nivå måste besvaras innan en omfattande regional bedömning av riskerna kan genomföras.
- Det finns ett behov av specialiserade databaser eftersom sådana reducerar osäkerheten i slutresultatet.
- Nyttjandet av tekniska verktyg kan spela en stor roll för möjligheterna att hantera risker.
- I regional riskbedömning bör alla risker tas med i beräkningarna.
- Säkerhetskulturen, allmänhetens deltagande och kommunikation av risker är viktiga aspekter i processen för regional riskhantering.

Under senare år har Gheorghe och Nicolet-Monnier (1995, 1996) fört fram begreppet Integrated Regional Risk Assessment and Safety(/Hazard) Management, IRRASM, som ett samlande namn för det integrativa regionala synsättet för riskbedömning. IRRASM bygger på det arbete som genomförts av IAEA, UN m fl¹⁵ (1998) men framför allt på The polyproject on risk and safety of technical systems.

4.2 Metodologiska aspekter i IRRASM

Gheorghe (1996) menar att regionala riskbedömningar innebär att en komplex metodik måste tillämpas för att kunna handskas med risker mot hälsa och miljö, under såväl normal drift som vid olyckstillstånd och där man involverar ett stort antal industrier, effekter, regleringar och aktörer. Gheorghe definierar IRRASM som en tvärvetenskaplig process med demokratisk prägel där en mångfald av kunskapsdiscipliner, metoder och tekniker samverkar. Ambitionen är att försöka kombinera mer än ett angreppssätt, mer än en riskkälla (t ex riskerna från en anläggning under såväl normal drift som under olycksartade situationer), och både källa och receptor (Fedra 1998). Mjuka och hårda metoder bör integreras liksom expertutlåtanden och allmänhetens åsikter. En integrativ metodik betonar den demokratiska beslutsprocessen och därmed också bruket av beslutsstödjande system för att hjälpa de beslutsfattare som inte är experter på risker och fysisk planering. Användningen av flera tekniska verktyg och dynamiska simuleringsmodeller bl a med kapacitet att utföra rumsliga analyser (bl a GIS) är viktiga inslag p g a de stora och komplexa informationsmängderna¹⁶.

Gheorghe (1995) anser det viktigt att det inte bara är tekniker, och i viss mån ekonomer, som utför riskanalyser, vilket är brukligt, utan att också andra forskningsdiscipliner involveras i processen. Samhällsvetarna kan t ex effektivisera relationen mellan teknikernas ingenjörsmässiga riskanalyser och samhällets behov och förväntningar. Ett resultat av att integrera samhällsvetarna i processen skulle således kunna vara att allmänhetens tillit ökar till myndigheternas arbete, vilket i förlängningen torde innebära att det blir lättare att genomföra nödvändiga förändringar av samhället (t ex olika större infrastrukturella projekt)

För att integrera olika riskbedömningsmetoder på regional nivå måste ett antal metodologiska nyckelfrågor besvaras. Gheorghe & Nicolet-Monnier (1995) ger några exempel på vad som bör beaktas i en studie:

1. Principer för avgränsningar av tekniska system och teknologiska kedjor.
2. Metoder för att bedöma relationen mellan dos och effekt vad gäller hälsofrågor.
3. Metoder för att bedöma olika tekniska systems effekter på miljön och speciellt möjligheten att utveckla indikatorer för miljörisker.
4. Hur skall risk hanteras i ett tidsperspektiv? Kan risker tänkas minska över tid genom teknisk utveckling (risk discounting). Hur kan framtida teknisk utveckling integreras i riskbedömningen?
5. Hur skall osäkerheter hanteras i jämförande riskanalys och dessutom sett över tid?
6. Hur skall risker för olyckor i olika tekniska system jämföras?
7. Är det möjligt att utveckla en generell riskindikator för alla risker?
8. Hur skall bra metoder för att presentera jämförelser och resultat se ut?

¹⁵ Värt att notera är att Gheorghe var vetenskaplig sekreterare i IAEA under arbetet med *Guidelines for Integrated Risk Assessment in Large Industrial Areas* (1998) och dessutom medverkade i *The polyproject on risk and safety of technical systems*

¹⁶ Det är viktigt att poängtera att Gheorghe & Nicolet-Monnier framför allt för sitt resonemang utifrån teknologiska risker som riktar sig mot miljö, hälsa och säkerhet.

En IRRASM-studie kan omfatta ett visst antal parametrar beroende på syftet med undersökningen. Gheorghe (1996) ger några exempel på vad som kan ingå i en IRRASM-studie:

- Identifikationen av potentiella källor.
- Uppbyggande av scenarier; t ex med hjälp av händelsetråd (se avsnitt 2.2.1).
- Samspelet mellan naturliga faror och operativa tillstånd bland tekniska system.
- Riskbedömning för utsatta mål.
- Säkerhetsagerande på anläggnings- och regional nivå.
- Speciella risk- och säkerhetsfrågor.

Utifrån parametrarna ovan kan målet för en IRRASM-studie variera i hög grad och bli a handla om att:

- Prioritera faror i en region.
- Identifiera individuella och sociala riskkriterier.
- Identifiera riskkällor och uppskatta risker för olika mål i regionen.
- Utföra olycks- och konsekvensbedömning i det berörda området.
- Bedöma nivån av säkerhet i regionen och jämföra den med explicita eller implicita normer.
- Integrera olika risktyper i regionen och utforma akuta handlingsplaner.

Många av punkterna ovan implicerar behovet av att kunna jämföra olika risker med varandra. Vad beträffar att bedöma och jämföra miljöpåverkan från tekniska system existerar framför allt två begränsningar:

1. Effekterna är inte alltid möjliga att kvantifiera.
2. Det finns inte någon generell överenskommelse om vad som skall kvantifieras.

För hälsoeffekter råder det, som tidigare konstaterats i avsnitt 3, osäkerhet om dos-effektförhållande för många kemikalier vilket gör det svårt att jämföra risker från doser av olika ämnen. Effekterna är dessutom ofta fördröjda.

I avgränsningen av riskanalysen måste hänsyn tas till syftet, tid och rum, vilka delar och faser i systemet som undersöks, vilka konsekvenser som skall bedömas. Gheorghe och Nicolet-Monnier (1995) menar att det är mycket viktigt att involvera många olika befolkningsgrupper i det här arbetet så att alla relevanta aspekter täcks in.

I avsnitt fem–elva nedan presenteras några metoder och verktyg för integrativ, rumsbaserad riskhantering. Dessa framstår som mycket adekvata att applicera i en IRRASM-studie. Sårbarhetsanalys och beslutsmetoder baserade på multikriteriemetoder belyser de integrativa aspekterna medan GIS illustrerar den rumsliga dimensionen.

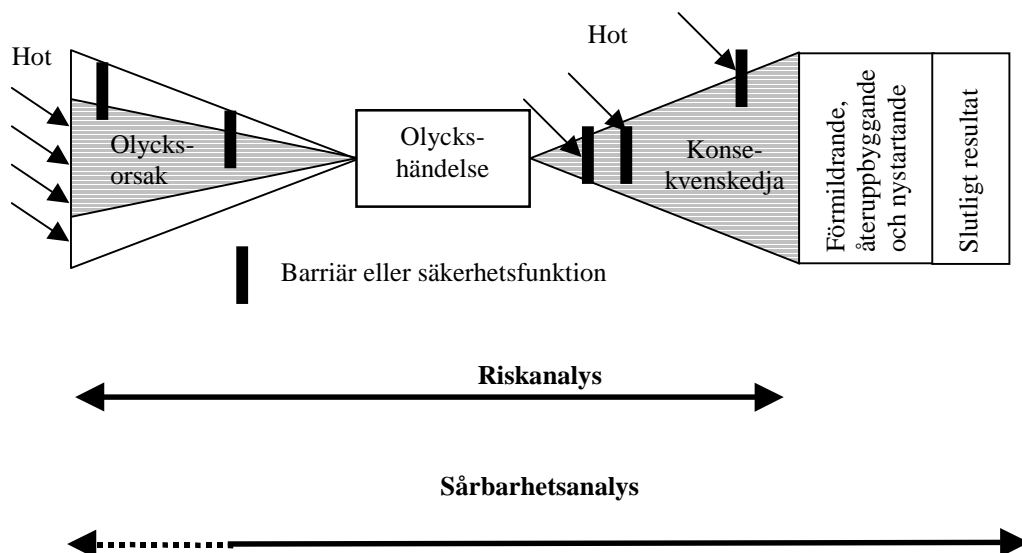
5 Sårbarhetsanalys

5.1 Definition av sårbarhetsanalys

Sårbarhetsanalyserna kan betraktas som släktingar till riskanalyserna och torde liksom dessa kunna delas in i ett spektra från kvalitativa och semi-kvantitativa metoder till kvantitativa. Sårbarhetsanalyser började användas för omkring 15 år sedan, främst för att undersöka sårbarheten i datorsystem och annan informationsteknologi (Einarsson 1999). Sedan dess har sårbarhetsanalyser blivit utnyttjats för att undersöka företagets robusthet och överlevnadsförmåga då de utsätts för olika typer av hot och påfrestningar. På senare tid har emellertid sårbarhetsanalyser också använts för att mäta olika systems sårbarhet i andra sammanhang.

Sårbarhetsanalysen skiljer sig från riskanalysen på flera punkter. En central skillnad är att riskanalysen främst arbetar med de händelser som äger rum inom ett systems fysiska gränser medan sårbarhetsanalysen ser till en öppen systemmodell (Einarsson & Rausand 1998). Riskanalysen undersöker huvudsakligen riskerna från en anläggning mot människor, på eller utanför anläggningen, medan sårbarhetsanalysen ser till interna såväl som externa konsekvenser med särskilt intresse för systemets överlevnadsförmåga. I sårbarhetsanalysen inkluderas därför riskfaktorer av olika slag, såväl inom som utanför systemets fysiska gränser. Dessutom tas i högre grad hänsyn till de skadereducerande faktorer som existerar. Sårbarhetsanalysen anlägger också ett långt tidsperspektiv och fokuserar på ett förlopp från det att en störning inträffar till att ett nytt stabilt tillstånd uppnåtts.

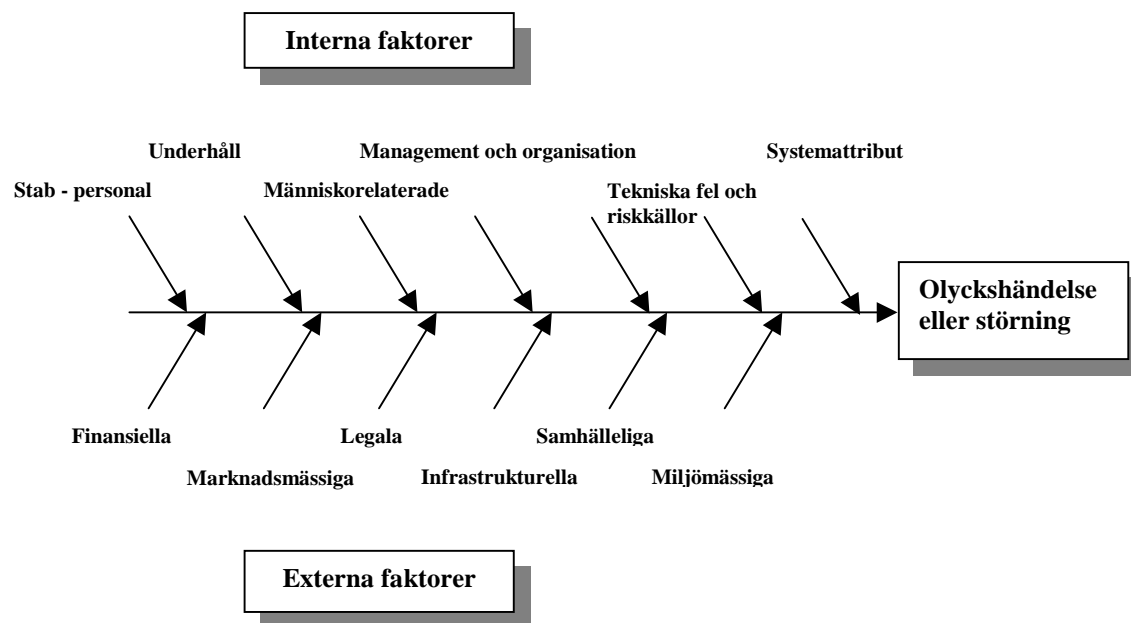
Figur 5.1 åskådliggör i grova drag skillnaden mellan omfattningen av en riskanalys och en sårbarhetsanalys. Riskanalysen fokuserar på den konsekvenskedja som kan inträffa till följd av en olycksmissig händelse. De barriärer och säkerhetsfunktioner som är dimensionerade för att begränsa omfattningen av ett skademässigt händelseförlopp studeras främst utifrån tillförlitlighet och kapacitet.



Figur 5.1. Skillnaden mellan en sårbarhetsanalys och riskanalys

Källa: Einarsson & Rausand 1998 och Einarsson 1999

Anmärkning: Bilden är en sammanjämkning av olika versioner i de båda källorna samt den text som förklarar dem.



Figur 5.2. Interna och externa faktorer som kan leda till en olycksmässig händelse i ett tekniskt system
Källa: Einarsson och Rausand 1998

Sårbarhetsanalysen betonar istället systemets överlevnadsförmåga och fokuserar på vilka skadereducerande och återuppbyggande tillgångar som finns för att reducera sårbarheten vid en olyckshändelse.

Ett system påverkas av såväl interna som externa riskfaktorer. I figur 5.2 görs en kort översikt över riskfaktorerna i ett industriellt, teknologiskt system. Alla kan inte analogt appliceras på ett socialt, eller ekologiskt system varför uppsättningen riskfaktorer under sådana omständigheter måste modifieras.

Även i riskanalysen anläggs (i varierande grad) en systemsyn. IEC (1995) menar att riskanalysen är en strukturerad process i vilken sannolikheten och omfattningen av skadliga händelser som utgår från en aktivitet, facilitet eller system kan identifieras. Syftet är bl a att klarlägga de viktigaste orsakerna till risker och svaga länkar i systemet, bättre förstå systemet och dess installationer och jämföra risker med de som härstammar från alternativa system eller teknologier. Hänsyn tas även till energi, material och information som är gränsöverskridande samt vilka förhållanden som kan ha en reducerande effekt på konsekvenserna. Det finns alltså en tendens att inom nutida riskanalyser alltmer inkorporera hänsyn till organisatoriska/administrativa faktorer och mänsklig inverkan. På så vis verkar det som att riskanalyser alltmer närmar sig sårbarhetsanalysens angreppssätt. Det är således viktigt att konstatera att definitionen av riskanalys i figur 5.1 endast ser till den snävare och objektorienterade riskanalysen. Gränsen mellan riskanalys och sårbarhetsanalys är m a o diffus och beror på hur riskanalysen definieras. Klart är dock att sårbarhetsanalysen generellt sett kan sägas ta ett brett grepp och att den applicerar en öppen systemsyn.

5.2 Metoder för att mäta och jämföra sårbarhet

Nedan redovisas några praktiska metoder som har utvecklats i de nordiska länderna och USA för att mäta och jämföra olika aspekter av robusthet/sårbarhet. Översikten gör inte anspråk på att vara fullständig utan är ett exempel på hur sårbarhetsanalyser kan användas på olika samhällssystem. De flesta av metoderna nedan grundar sig på någon form av scenariobeskrivning/simulering av händelseförlopp.

5.2.1 Sårbarhetsmatriser

I avsnitt 2.4 presenterades den checklista ÖCB m fl (1998) utarbetat som underlag för robusthetsanalys. Robusthetsanalysen kan ses som en inverterad sårbarhetsanalys. Den kvalitativa sårbarhetsanalysmetod som ÖCB utvecklat är relativt okomplicerad och kan jämföras med en traditionell, kvalitativ riskmatris. Dock anlägger man ett bredare perspektiv än vad som är normalt eftersom man ser till flera olika risker i ett samhälle.

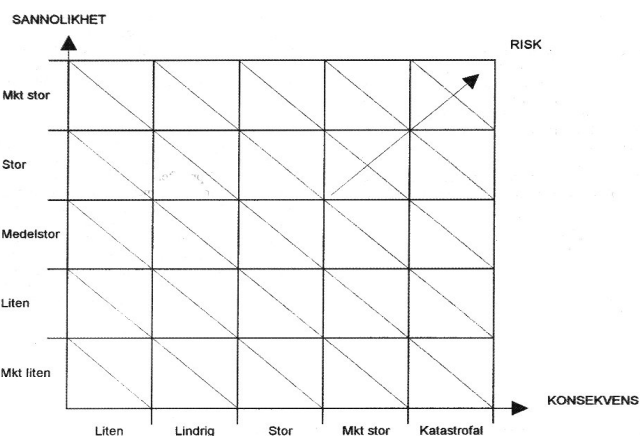


Fig 5.3 Exempel på riskmatris
Källa: ÖCB m fl 1998

Genom att i t ex en stad undersöka olika objekt som kan utgöra riskfaktorer, utifrån sannolikheten för att en skada skall inträffa, liksom konsekvenserna av denna, kan utfallet sättas in i riskmatriser. Riskmatrisen gör riskbilden överskådlig och det blir därför förhållandevis enkelt att prioritera åtgärder. Ju närmare det övre högra hörnet riskfaktorn är belägen, desto större är risken. I en annan matris kan sedan risken mätas mot kostnaden för ökad säkerhet/robusthet.

5.2.2 Nyckeltal och indikatorer för närsamhällets robusthet (semi-kvantitativ metod)

I en FOA-studie utförd av Bergström m fl (1998) har man, på uppdrag av ÖCB, utarbetat ett stort antal (151 st) nyckeltal för att värdera existerande eller planerade närsamhällets (grannskap och bostadsområden) robusthet¹⁷. Som grund för att utveckla dessa har man utgått från ett antal sakområden inom vilka robustheten kan vara problematisk i ett samhälle. I sakområdena identifieras egenskaper som i samhällsvetenskaplig teori kan anses karakterisera robusthet. Den vänstra kolumnen i tabell 5.1 visar sakområdena medan kolumnerna A-D redogör för robusthetsaspekterna. Med tabell 5.1 som underlag har en nyckeltalsplan med olika index framställts för att mäta robustheten inom varje sakområde och enligt de fyra teman A-D i tabell 5.1. I tabell 5.2 visas några exempel på nyckeltalen i sakområdet försörjningssystem el och värme. VSM visar i vad mån nyckeltalet indikerar att verksamheten:

- är värdeskapande och uttrycks i verkningsgrad, V.
- är hushållande, S (snålar) med en specifik resurs.
- har en stor resursbas, att den är av god kvalitet och/ eller tillgänglig för verksamheten, d v s att det finns en marginal, M.

¹⁷ Konkret har nyckeltalsplanen utvecklats för Hammarby Sjöstad i Stockholm och Lindeborg i Malmö

Integrerad regional riskbedömning och riskhantering

Tabell 5.1 Matris som åskådliggör sambandet mellan sakområdena och robusthetsegenskaperna i ett samhälle. Förslag ges till vad robusthet rent konkret innebär för de olika fallen. Utifrån denna matris utarbetas nyckeltal på robusthet.

Samhälleliga Sakområden	A) God relation till resursbasen	B) Flexibilitet	C) Oberoende	D) Orientering inläring och handling
<i>Försörjningssystem – el och värmeförsörjning</i>	Säkerhet mot el- och värmeavbrott	Möjligt att avstå från utrymmen och funktioner	Energilager, lokal försörjning	Motivation att hålla med el och värme
<i>Försörjningssystem, vatten, avlopp och avfall</i>	Reparations- och servicekompetens finns lätt tillgänglig	Möjligt att kortsiktigt växla mellan leverantörer	Reservsystem och tillgång till mulltoa	Försörjningsplan för vatten
<i>Kommunikationssystem för personer, varor och information</i>	Mediatillgång	Låg specifikation av kommunikationsbehov	Buffert, förmåga att (temporärt) avstå från kommunikation	Problemlösning i flera små steg
<i>Försörjningssystem livsmedel</i>	Relativ prisnivå i den lokala livsmedelsbutiken	Kunskap och utrustning för matlagning	Lagringsmöjligheter för olika slags livsmedel	System för spridning av information för störning
<i>Markförhållanden och yttre miljö</i>	Icke hårdgjord markyta	Möjlighet att (tillfälligt) bo på annan plats	Lokalt omhändertagande av dagvatten	Tillgång till radonmätare
<i>Förvaltning och bebyggelsens utformning</i>	Kvalitetssäkring i produktionen	Möjligt att reparera skador	Oberoende av specifika reservdelar	Dokumentation, inspektion och teknisk kunskap
<i>Näringsliv, social service och social kvalitet</i>	Lokal arbetsmarknad, daghem och varierande lägenhetsstorlekar	Många kompetenser, förmåga att ta deltid och OB-tid	Stöd till ungdomar och arbetslösa; arbetsbyte	Föreningsaktiviteter, mötesplatser, solidaritet inom området.

Källa: Bergström m fl (1998)

Tabell 5.2 Utdrag ur den tabell som redovisar nyckeltal för robusthet i drift och planering i grannskap

Nyckeltalsnamn	Täljare	Nämnare	Tema	VSM
<i>Säkerhet mot elavbrott</i>	Säkerhet vid elavbrott skala 1-3 ¹⁰	1 (siffran 1)	A	M
<i>Elflexibilitet</i>	Sätt att få fram el, st	1	B	M
<i>Energilager</i>	Mängd energi som lagras MWh	Grannskapets energianvändning per dygn, MWh	C	M
<i>Elhushållningsmotivation</i>	Lägenheter med elmätare, st	Alla lägenheter, st	D	M

Källa: Bergström m fl (1998)

I FOA-rapporten (Bergström m fl 1998) har flera olika indikatorer utvecklats inom varje sakområde och tema vilket gör att nyckeltalsplanen framstår som ett smörgåsbord av indextal. Ett urval av dessa indikatorerna kan grupperas och läggas in i ett naturekonomiskt redovisningsprogram. Tabell 5.3 visar några exempel på de utmaningar som kan riktas mot sakområdet *Försörjningssystem – el och värmeförsörjning* i några olika miljötyper. Tabellen visar att överlevnad handlar om olika aspekter beroende på vilken miljötyp som råder.

Genom simuleringar är det möjligt att utvärdera olika utvecklingsalternativ beroende på vilken miljötyp som råder. Bergström m fl (1998) anser att det är möjligt att skapa

Tabell 5.3 Några typer av utmaningar för el och värmeförsörjningen som kan uppstå i olika miljötyper
Källa: Bergström m fl 1998

Miljötyp	Plötslig utmaning	Smygande utmaningar
Stabil slumpmässig	Strömavbrott	Osystematiska spänningsvariationer
Stabil strukturerad	Sträng kyla, elransonering	Förslitning av installationer, ogynnsamt differentierade taxor
Instabil regerande	Illegitima/felaktiga installationer slår ut system	Tjuvkopplingar, stöld av el
Turbulent kaotisk	Dramatisk prishöjning	

scenarier genom att utveckla tre modeller som kopplas till varandra. Modellerna representerar:

1. De olika utmaningarnas struktur och förlopp.
2. Grannskapets egenskaper (grad av robusthet). Här sker datainsamlingen rörande grannskapets kvaliteter.
3. Den sista modellen är en resultatmodell där nyckeltalen grupperas och infogas i ett naturekonomiskt redovisningsprogram.

Bergström har upprättat ett arbetsschema i fem steg för att man ska simulera och testa robustheten i grannskap (såväl planerade som existerande). Stegen sammanfattas i:

1. Tillverka en naturekonomisk modell av grannskapet så att så många nyckeltal som möjligt kan anslutas till modellen.
2. Överför modellen genom att gruppera nyckeltalen strategiskt i en kontoplan, en nyckeltalsplan och en svärmpplan i ett naturekonomiskt redovisningsprogram.
3. Om man simulerar robustheten i ett existerande område rekommenderas att man arbetar med tidsserier för att identifiera variationer.
4. Bestäm vilka utmaningar som robustheten skall testas mot.
5. En känslighetsanalys avslutar arbetsgången. En bedömning görs här av hur värdet på de konto som berörs skall förändras med avseende på hur många konton som berörs och hur stora förändringarna är.

Det är meningen att den nyckeltalsmodell som utvecklats ovan skall testas genom en praktisk mätning (ÖCB, <http://www.ocb.se> 2000-01-18). Två bostadsområden står i fokus för undersökningen, Lindeborg i Malmö och Hammarby Sjöstad i Stockholm. Syftet är bl a att visa hur ett redovisningssystem för robusthet kan se ut.

Nedan redogörs för tre olika metoder med syfte att mäta sårbarheten på olika nivåer i samhället. De baseras på sårbarhet för ett företag men fokuserar i olika grad på *det tekniska systemet, företaget och kommunen*.

5.2.3 Sårbarhet i tekniska system

Einarsson och Rausand (1998) har utvecklat en scenariobaserad sårbarhetsanalys för komplexa industriella system och med vars hjälp det är möjligt att kvantifiera konsekvenserna av ett händelseförlopp. Metoden har bl a använts på Island för att undersöka sårbarheten i elsystem. En sådan metod torde emellertid, vilket diskuterats tidigare, även kunna användas för att

bedöma sårbarheten i sociala och ekologiska system. Tillvägagångssättet kan ses som en systematisering och vidareutveckling av figur 5.3 (sårbarhetsmatris). Analysen utförs i åtta steg (Einarsson 1999, Einarsson & Rausand 1998):

1. Identifikation av riskkällor m h a checklistor.
2. Identifikation av olycksscenarier. De olika scenarierna kan framställas med hjälp av händelseträäd.
3. Uppskattning av scenariernas sannolikhet.
4. Bortgallring av scenarier med låg sannolikhet.
5. Uppskattning av de kvarvarande scenariernas effekter på människor, egendom och affärliv.
6. Identifikation och utvärdering av skadereducerande resurser.
7. Identifikation och utvärdering av resurser för att återuppbygga och återskapa företaget.
8. Rangordning av scenarier vilket möjliggörs genom att scenarierna kvantifieras. Kvantifieringen bygger på subjektiva värderingar.

Två arbetsblad har utarbetats som ett hjälpmedel. I det första arbetsbladet (se figur 5.4) försöker man identifiera de hot som föreligger, vilka scenarion och oönskade effekter de kan leda till och vilka resurser som finns för att möta hoten. I det andra arbetsbladet (se figur 5.5) är syftet att grovt kvantifiera och rangordna de olika scenarierna som identifierats i blad 1.

Hot	Scenario	Sannolikt? (ja/nej)	Potentiell, omedelbar effekt?	Resurser/system/planer för Skadereduktion/ återuppbyggnad/ etc		Anmärkningar
				Interna	Externa	
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)

Fig 5.4 Arbetsblad nr 1 i Einarsson & Rausands scenaribaserade sårbarhetsanalys

Källa: Einarsson & Rausand 1998

Scenario (brådskä)	Sannolikhet för scenario	Konsekvenser av scenario				Resurser för skadereduktion/ återuppbyggnad/ etc		Summa
		Påverkan på människa	Miljömässiga påverkan	Påverkan på affärsverksamhet	Egendoms påverkan	Interna	Externa	
Nr. och Beskrivning	(4-0)	(4-0)	(4-0)	(4-0)	(4-0)	(4-0)	(4-0)	
1	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
2								
3								

Fig 5.5 Arbetsblad nr 2 i Einarsson & Rausands scenaribaserade sårbarhetsanalys

Källa: Einarsson & Rausand 1998

Endast diskreta händelser uppmärksammas i scenarierna. Kontinuerliga och inkrementella förändringar av systemet anses inte relevanta i analysen såvida de inte ger upphov till en specifik händelse. Sannolikheten, konsekvenserna och de interna och externa resurser som finns för att möta scenarierna viktas och den totala konsekvensen av de olika scenarierna erhålles genom enkel summering enligt följande formel (Einarsson & Rausand 1998).

$$C_i = k_h * C_{h,i} + k_e * C_{e,i} + k_b * C_{b,i} + k_p * C_{p,i}$$

Där:

C = konsekvensen av ett scenario och

K = vikt för konsekvensen

Index:

i står för scenario nummer i

h betecknar människor (t ex $C_{h,i}$ = konsekvensen av scenario i med avseende på människor).

e är uttryck för miljö

b betecknar affärlivet

p står för egendom

Den totala rangordningen mellan scenarierna beräknas genom att för varje scenario multiplicera sannolikheten med konsekvensen och sedan dra ifrån (den eventuellt viktade) summan för de skadereducerande resurserna. Scenariot med högst tal är det som betraktas som mest angeläget att åtgärda och hamnar därför högt i prioriteringsordningen. En annan, enklare metod, är att använda en riskmatris (jämför figur 5.3).

5.2.4 FEMA's guide för krishantering i företag

The Federal Emergency Management Agency i USA, FEMA (Fema, <http://www.fema.gov> 2000-01-15) har sammanställt en guide för krishantering (emergency management) på arbetsplatser av olika slag. I denna ingår att göra en sårbarhetsanalys¹⁸.

I ett första steg sätts ett planeringsteam med medarbetare från olika positioner i företaget samman för att utforma en krisplan. Gruppen skall försök samla in fakta och analysera den föreliggande situationen vad beträffar resurser och riskkällor. Häri ingår att identifiera faktorer såsom regelsystemet, kritiska produkter och tjänster och interna och externa tillgångar och resurser.

Nästa steg består i att utföra själva sårbarhetsanalysen. För detta används en metodik baserad på arbetsblad som liknar Einarsson och Rausands (1998). I arbetsbladets kolumner ifylls oönskade händelser, dels sådana som kan drabba företaget och dess anläggning men också det samhälle i vilket man verkar. Faktorer som beaktas är bl a sådana som tidigare har inträffat i samhället (olyckor med transport av farligt gods, naturkatastrofer etc), är relaterade till det geografiska läget (t ex närhet till kärnkraftverk), hör samman med teknologi (t ex problem med telekommunikationer), mänskliga felhandlingar (p g a dålig utbildning, dåligt underhåll o s v) och fysiska (anläggningens konstruktion) och juridiska faktorer (vilka olyckor är man ålagd att handskas med?). Sannolikheten för varje händelse rangordnas i enlighet med subjektiva värderingar från 1-5, där 1 är lågt och 5 är högt. Likadant görs för den potentiella påverkan händelsen har på människor, egendom och affärsverksamheten. Därefter bedöms och poängsätts de interna och externa resurser som finns för att bemöta de oönskade händelserna. Genom att summera varje scenario blir det möjligt att identifiera de scenarion som fortsättningsvis behöver prioriteras i krishanteringsarbetet. En plan för hur man skall återhämta sig från en olycka och återuppbygga verksamheten bör också upprättas. I denna skall diskuteras

¹⁸ Med kris avses här en oväntad händelse som inträffar och orsakar skada på människa, egendom, affärsverksamhet eller t o m dödsfall, d v s klart riskrelaterade problem.

strategier för att ersätta förlorad nyckelpersonal, flytta till alternativa platser, ersätta förlorad utrustning etc.

5.2.5 Risk- och sårbarhetsanalyser i kommuner

Direktoratet för sivil beredskap, DSB, har utarbetat en handledning för risk- och sårbarhetsanalyser i kommuner (DSB, <http://www.dsb.no> 1999-12-23). Analysen betonar incidenter i fredstid men kan även inkludera krigshändelser som ett *worst case scenario*.

Handledningen är uppdelad i sex steg där det *första steget* handlar om att organisera arbetet. DSB anser att det politiska ledarskapet i kommunen är ansvarigt för att en analys utförs och följs upp. En interdisciplinär styrgrupp kan sättas samman för att ansvara för det dagliga arbetet. Gruppen bör innehålla folk från kommunstyrelsen men även från organisationer som polis och frivilligorganisationer. En arbetsgrupp utses för att sköta det praktiska arbetet. Arbetsgruppens befogenheter kan variera beroende på vad som anses lämpligt. En tät kontakt bör hållas mellan styrgrupp och arbetsgrupp för att snabbt kunna vidta nödvändiga åtgärder. Kontakter bör också tas med näringsliv och andra organisationer som kan sitta på viktig information. Länsstyrelsen är en viktig samarbetspartner.

I *steg två* utförs själva sårbarhetsanalysen vilken kan delas in i fem delsteg. I det första delsteget identifieras de oönskade händelser som kan inträffa och drabba människor, miljö, egendom eller livsnödvändiga funktioner i samhället. För att göra detta framgångsrikt krävs det att systemet beskrivs i detalj. I det andra delsteget uppskattas sannolikheten för att händelserna skall inträffa. Orsakerna måste härmed klargöras och vidare om dessa är isolerade händelser eller om det sker en samverkan mellan flera olika omständigheter. Det är också nödvändigt att beakta vad som redan har gjorts för att reducera sannolikheten för att de skall inträffa (preventiva åtgärder). Statistik och erfarenhetsbaserad kunskap ligger därefter till grund för en sannolikhetsbedömning och en klassificering av sannolikheten (trolig, mindre trolig etc...). En granskning bör göras av om sannolikheten varierar i freds- och krigstid. I delsteg tre görs en inventering av åtgärder som vidtagits för att reducera skador. Genom att jämföra vad som existerar i den här vägen med vad som krävs för att handskas med en olycka är det möjligt att bedöma skadeomfattningen då en oönskad händelse inträffar. Även eventuella dominoeffekter bör beaktas. Samspelet mellan olika händelser måste därför klarläggas. De olika händelserna kan därefter klassificeras i enlighet med dess skadeomfattning på systemet (t ex med avseende på viktiga samhällsfunktioner).

I det fjärde delsteget handlar det om att systematisera de identifierade riskerna. Detta kan bl a låta sig göras genom att riskerna sätts in i en riskmatris. Om riskerna konsekvens- och sannolikhetsmässigt skiljer sig åt väsentligt i freds- och krigstid kan det vara lämpligt att upprätta två matriser. I det femte delsteget identifieras potentiella sätt att reducera riskerna och sårbarheten, antingen genom preventiva eller skadereducerande åtgärder. DSB poängterar att åtgärder som genomförs för fredstid även har betydelse för sårbarheten i krigstid. De riskreducerande åtgärderna kan delas in i tekniska, operationella och/eller organisatoriska insatser. Tekniska åtgärder inkluderar förbättringar i design eller konstruktionsmetoder, operativa ingrepp handlar bl a om övervakning och rutiner för underhåll. Organisatoriska aspekter består i träning, fördelning av ansvar och samordning av uppgifter. De föreslagna åtgärderna bör genomgå en grov cost/benefit-analys.

Då analysen genomförts fortsätter man med *steg tre* i vägledningen. Arbetsgruppen presenterar då sina slutsatser för styrgruppen. Redogörelsen bör omfatta alla antaganden, avgräns-

ningar, osäkerheter, förenklingar och värderingar. Likaså skall analysen omfatta förtecknade risker och sårbarhet samt behovet av fortsatta och mer detaljerade analyser.

Steg fyra handlar om politiskt beslutsfattande. Det politiska ledarskapet måste ta beslut om hur den föreliggande situationen skall hanteras. Är tillståndet acceptabelt eller vilka åtgärder bör vidtas? *Steg fem* är en uppföljningsfas. Vilka åtgärder bör vidtas i kommunens arbete för att reducera sårbarheten? Samma fråga kan ställas för krisplanearbetet. Vilka är möjligheterna för samarbete och koordination mellan kommun och andra myndigheter och organisationer? Behoven måste dokumenteras och ansvaret fördelas på rätt parter. Krisövningar bör hållas regelbundet för att reducera skadeomfattningen av de identifierade riskerna ifall de skulle utlösas och kunnandet behöver ständigt uppdateras. Den erhållna kunskapen om riskerna och sårbarheten i kommunen kommer också att vara en grundläggande förutsättning för att arbetet för ett mer robust samhälle initeras hos andra myndigheter och organisationer. I *det sista steget*, gäller det att se till så att analysen ständigt uppdateras. Sårbarhetsanalysen är en kontinuerlig process.

6 Beslutsmetoder

6.1 Inledning, definitioner MCDM, MADM, MCA, SDSS

Ett beslut kan definieras som en oåterkallelig allokering av resurser. "Bra" beslut produceras av en kvalitetssäkrad beslutsprocess. Detta innebär bl a att processen:

- Involverar samtliga personer med legitima intressen i beslutet.
- Identifierar de förmånliga handlingsalternativen.
- Är byggd på den "rätta" mängden information.
- Är logiskt sund.
- Utnyttjar resurser effektivt.
- Producerar resultat som är konsistenta med beslutsfattarens preferenser.

Vi har tidigare i avsnitt 3 gått genom några metoder som stöd i beslutsfattandet: Riskanalysmetoder (kvalitativa, semi-kvantitativa, kvantitativa) och metoder för sårbarhetsanalys. Dessa metoder är emellertid bara ett fåtal exempel på tillgängliga verktyg. Vi ska i detta avsnitt försöka sammanfatta den viktigaste kunskapsbasen på området. Vi börjar med att definiera begreppet verktyg, beskriva olika typer eller kategorier av verktyg för beslutsstöd, beskriva några av de viktigaste enskilda verktygen samt slutligen ge en översikt av hur dessa verktyg i olika praktiska fall har integrerats med andra verktyg för rumslig analys till SDSS (Spatial Decision-Support Systems). Innan vi går vidare måste vi emellertid försöka definiera innebörden av viktiga förkortningar eller akronymer som används i engelskspråklig litteratur.

Den uppsättning beslutsproblem som intresserar planerare på lokal eller regional nivå förutsätter som regel ett antal geografiskt definierade åtgärder eller alternativ (händelser) från vilka ett val skall göras; alternativen skall preferensordnas på basis av ett flertal evalueringskriterier som kan vara motsägande och ej direkt mätbara eller jämförbara. Alternativen är geografiskt beroende i den meningen att resultatet av analysen (beslutet) beror på rumsliga förhållanden. Det har sedan länge existerat en livaktig forskning vad gäller beslutsfattande under ett flertal kriterier eller målsättningar inom området fysisk planering. På senare år har dessutom ansträngningar gjorts för att länka framtagna beslutsmodeller direkt till GIS-redovisning och användning av datorbaserade riskberäkningsmetoder. Tyvärr har därvid producerats en terminologiflora som kräver en förklaring.

MCDM (multi criteria decisionmaking) innebär ett beslutsfattande baserat på ett flertal beslutskriterier och kan grovt indelas i MADM, multi attribute decisionmaking och MODM, multi objective decisionmaking. MADM kräver att val görs mellan beskrivna och tillgängliga alternativ specificerade av sina attribut (ibland kallade "kriterier"). I motsats till MADM innebär ett MODM-problem att man inom processen aktivt utformar eller skapar det bästa alternativet med utgångspunkt från ett antal sinsemellan motstridiga målsättningar. Om det finns en direkt motsvarighet mellan attribut och målsättningar förvandlas MODM-problemet till ett MADM-problem. Vi skall i fortsättningen enbart koncentrera oss på MADM-metoden. Ytterligare ett begrepp som bör definieras är SDSS, Spatial Decision Support System. SDSS kombinerar multikriteriemetoder med beslutsteorier i syfte att stödja användaren att analysera konsekvenserna av olika alternativ och fatta optimala beslut. SDSS behandlas utförligare i avsnitt 9.3.

Slutligen betonas att benämningarna "kriterier", "attribut" och "parameter" i detta sammanhang betecknar i stort sett samma typ av faktorer och alltså kan anses utbytbara.

6.2 Verktyg för det totala beslutsproblemet

Större delen av detta avsnitt är hämtat från en helt nyligen publicerad bok om verktyg för beslutsfattande i miljöfrågor (Dale and English 1999). Grovt sett kan verktygen delas upp i tre typer: 1. Information eller data, 2. Verktyg för att samla data samt 3. Verktyg för att organisera och analysera data. I referensen ovan görs en finare indelning i tio kategorier. Verktyg för att:

- definiera problemet.
- bedöma miljö- och hälsorisker.
- bedöma övriga risker.
- avgöra om åtgärd är nödvändig.
- samla information och data.
- identifiera alternativ.
- sälla alternativ.
- evaluera alternativ.
- jämföra och välja alternativ.
- kommunicera beslut.

Med dessa tio kategorier som bas redovisar bilaga 3 en lista på mer än 100 tillgängliga metoder, sorterade i alfabetisk ordning. Listan är medtagen enbart för att demonstrera den enorma variationen i tillgängliga metoder. Val av verktyg måste bli ske med utgångspunkt från typ av riskkälla, problemets storleksordning (nivå på analysinsats), aktuellt led (kategori 1-10 ovan) i beslutsprocessen, grad av kvantifiering, grad av osäkerhetsanalys (användning av probabilistiska metoder). Tabellen illustrerar också mångsidigheten i begreppet "verktyg": ett verktyg kan vara en teori eller modell, en metod att ta reda på allmänhetens åsikt, en metod att identifiera tillämpliga bestämmelser och förordningar, ett övervakningssystem, mjukvara till ett expertsystem, en typ av presentations- eller informationssystem. De verktyg som berördes i avsnitt 3 är att hänföra till kategorierna 2 och 3 ovan; metoder att bedöma hälso- och miljörisker samt övriga risker.

I bilaga 3 framgår att ett antal "mega-verktyg" (d v s verktyg vars användningsområde sträcker sig över ett stort antal kategorier) kan definieras: PRA (probabilistisk riskanalys), beslutsanalys och kostnads/nytta analys. Av dessa har PRA eller kvantitativ riskanalys redan beskrivits i avsnitt 3. Kostnads/nytta analys är ett ofta utnyttjat standardverktyg som dock hitintills bara fått en begränsad användning inom området regional riskbedömning. Beslutsanalysen är en systematisk och logiskt väldefinierad metod att analysera beslut under komplexa osäkerheter. Beslutsanalysen behandlar osäkerheter explicit genom att baseras på kvantifiering av olika händelseutfalls storlek och sannolikhet.

Gemensamt för alla dessa tre metoder eller verktyg är att de har betraktas som alltför komplexa, arbetskrävande och kompetenskrävande för att ingå i standardmjukvaror för SDSS. Här har i stället uppmärksamheten koncentrerats på en användning av de MADM-metoder som kortfattat beskrivs i avsnitt 7 nedan. Av MADM-metoder ingår i bilaga 3 ovan: Analytical Hierarchy Process (AHP), Simple Multi-attribute Rating Technique (SMART) samt Weighted Scoring Methods. Beteckningen är något oegentlig; egentligen är alla tre metoderna varianter av vad som sammanfattningsvis kan betecknas som "weighted scoring methods". En lämplig svensk beteckning kan vara "viktade ranking-metoder" eller index-metoder.

7 Ranking-metod byggd på viktning av parameter

7.1 Allmän karakterisering Multi Attribute Decision Making-metoder

Inom MADM-området finns en stor uppsättning olika metoder. Yoon och Hwang anger i sin lärobok en klassificering som innehåller 13 olika metoder beroende på typ och omfattning av tillgänglig information. Vi kommer här enbart att beskriva metoder som funnit användning på området integrerad riskbedömning. För dessa finns ett antal gemensamma begrepp:

Alternativ: Ett ändligt antal alternativ blir utsatta för en screening, prioriteras, väljs och/eller rankas. Synonyma begrepp är "handlingsalternativ", policy, handling etc.

Flera attribut: Varje problem definieras av ett antal attribut (kriterier). En viktig del av beslutsprocessen är att generera nödvändiga och lämpliga attribut. Antalet attribut beror på problemet och kan variera från några få till över 100-talet. Om någon skulle komma på idén att direkt använda index-metoder på nyckeltalen i FOA-studien om sårbara grannskap skulle alltså antalet parametrar = 151. Synonyma begrepp är "mål" eller "kriterier".

Ojämförbara enheter: Som framgår av FOA studien kan varje attribut anges i olika mått och storheter och vara både kvalitativa och kvantitativa. De metoder som vi kommer att beskriva kräver att alla attribut, även ursprungligen kvalitativa till sin natur, kan överföras till en gemensam numerisk skala. Olika metoder att göra detta redovisas i Yoon och Hwang (1995). Se även bilaga 2.

Viktning av attribut: Nästan samtliga MADM-metoder kräver information beträffande den relativa betydelsen av de ingående attributen eller parametrarna. I enklaste fall anger beslutsfattaren själv direkt värdet på de olika vikterna; vanligen bestäms vikterna genom någon av metoderna nedan.

Beslutsmatris: Ett MADM- problem kan koncist uttryckas i matrisformat där kolumnerna indikerar de attribut som utmärker problemet och raderna betecknar de olika alternativen. Ett typiskt element x_{ij} i matrisen betecknar värdet av det i ::e alternativt A_i med hänsyn till attribut nummer j .

Det finns ett antal varianter av MADM-metoder. Låt oss betrakta problemet i bilaga 2. Vi har här ett överordnat mål, fyra olika attribut eller kriterier beskriver eller definierar slutmålet samt tre olika alternativ, som är fixerade och entydigt bestämda från början. Problemet är här att väga dels hur de olika kriterierna påverkar slutmålet, dels hur de olika alternativen värderas med avseende på varje kriterium. Detta sker genom att använda metoden med parvisa jämförelser. Slutresultatet blir en vektor med tre element där elementen direkt visar den slutliga viktningen av de tre alternativen. Antag nu att istället för att utvärdera ett universitet, ett stort företag etc, att jämförelser istället skulle ske inom gruppen av universitet, mellan ett antal stora företag samt typ av eget företag, etc. Antag vidare att det för gruppen *universitet* går att identifiera ett antal parametrar x_i , som då kan antaga ett antal värden och som beskriver i vilken utsträckning kriterierna på mellannivå är uppfyllda. Antag att samma sak kan göras för de andra alternativen med två (delvis) andra uppsättningar X .

Målsättningen är här inte att välja universitet eller eget företag eller stort företag utan att finna det företag, universitet eller typ av eget företag som bäst uppfyller målsättningen. Tillvägagångssättet är då att definiera ett "scoring index" enligt något av uttrycken:

$$\text{Index} = \sum_n w_i x_i$$

eller

$$\text{Index} = \prod x_i^{w_i}$$

där x_i är den uppsättning parametrar som beskriver en viss typ av anställningsform. Den första formeln kallas vanligen Simple Additive Weighting (SAW) Method och den senare Weighted Product Method (Yoon och Hwang 1995). Här uppstår lätt situationen att attributen eller kriterierna är så många att metoden med parvisa jämförelser ej går att använda och vikter får härledas på annat sätt. En användbar metod är att med hjälp av exempelvis Delphi-panel direkt erhålla hur parametrarna på en nivå påverkar attributen på närmast högre nivå. "Påverkan" beskrivs enligt en normaliserad skala 1 – 5 (Likert skalan). Genom en serie matricmultiplikatorer erhålls direkt en vektor och vikterna w_i ovan. Förfarandet beskrivs närmare i Magnusson och Rantatalo (1998). Problemet gällde att med 13 parametrar som utgångspunkt rangordna en byggnads brandsäkerhet. Parametrarna varierade från rent kvantitativa (byggnadsdelars brandmotstånd) till rent kvalitativa sådana som organisatoriska förhållanden (utbildningsnivå för tillsynspersonal). Metoden kan direkt användas vid risk- och sårbarhetsstudier av de tekniska systemen och andra system som beskrevs i avsnitt 2.3. Det finns som nämnts en rad metoder att rangordna exempelvis system eller riskreducerande åtgärder (se Yoon och Hwang 1995). Vi nöjer oss här med att uttrycka hur AHP-metoden fungerar.

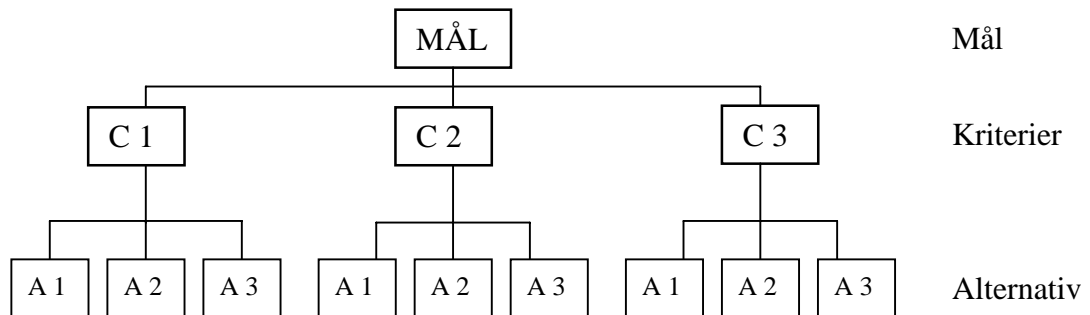
7.2 Analytic Hierarchy Process

7.2.1 Beskrivning

En rankingmetod som använts till exempel inom SDSS är Analytic Hierarchy Process, AHP (Sturk 1996). Metoden går ut på att rangordna olika alternativ på ett sätt som tar hänsyn till beslutsfattarens preferenser genom ett viktningssystem. Ett stort beslutsproblem måste brytas ner i mindre, överskådliga och gripbara delar. I AHP görs därför dels *en problemstrukturering*, dels *en jämförelse parvis* och slutligen *en utvärdering*.

7.2.2 Problemstrukturering

Principen för strukturering är att man ställer upp problemet i en hierarkisk struktur. Överst finns det mål man vill uppnå, och under det följer en nivå med de kriterier som ingår i målet och som påverkar valet. Varje kriterium kan sedan vara uppdelat i underkriterier och så vidare. På detta sätt får man en struktur med element på olika nivåer som ser ut som ett upp och nervänt träd. Längst ut på varje gren finns de handlingsalternativ man skall välja mellan för att på bästa sätt nå det uppställda målet, se figur 7.1.



Figur 7.1 Baselement i en hierarkisk struktur

7.2.3 Parvis jämförelse

När problemet har strukturerats hierarkiskt enligt ovan kan jämförelsen göras. Principen är att man för varje nivå gör en jämförelse av kriterierna (alternativen) med avseende på hur viktiga de är för att ett element på nästa högre nivå. Detta underlättar jämförelsen eftersom den avser en begränsad del av hela problemet. Man får alltså en serie av parvisa jämförelser som sedan kan kombineras. För en exemplifiering se bilaga 2.

Vid jämförelsen använder man en niogradig skala som kan uttryckas verbalt eller numeriskt. Skalan återges i Tabell 7.1 i ursprunglig form, Saaty (1988).

När samtliga parvisa jämförelser är gjorda görs en sammanvägning och beräkning av vikter. Den görs normal med dator och ger som resultat en viktad rangordning av alternativen. I bilaga 2 redovisas en approximativ metod för handräkning av vikter.

7.2.4 Begränsningar/Möjligheter

I fall då rangordning på preferensbasis skall göras, då inte risken kan uttryckas i monetära termer, är metoden mycket bra. Det är också möjligt att kombinera en rangordning efter beräknad risk med en preferensrangordning med AHP-metoden. I detta fall betraktas kostnaden som en av alla andra parametrar.

Tabell 7.1 Numerisk och verbal skala för att jämföra alternativ i en AHP-analys.
Källa: Ursprunglig form efter Saaty (1988)

NUMERICAL SCALE	VERBAL SCALE
1,0	Equal importance of both elements
3,0	Moderate importance of one element over another
5,0	Strong importance of one element over another
7,0	Very strong importance of one element over another
9,0	Extreme importance of one element over another

Följande för- och nackdelar har identifierats vid användning av metoden:

- + AHP-metodens styrka ligger i den hierarkiska problemstrukturering som görs. Härigenom tappas inte de väsentliga faktorerna bort eftersom de kommer högt upp i trädet innan det har hunnit växa ut.
- + Den parvisa jämförelsen, som ju görs på varje nivå och med avseende endast på nästa högre nivå, gör att man inte behöver beakta hela problemet på en gång när man skall kvantifiera sin preferenser.
- + Utvärderingen är lätt eftersom den görs med dator. Om det endast är en enda expert kan den göras interaktivt med datorn.
- Nackdelen är att rankingmetoder är helt subjektiva. Problem kan därför uppstå när det gäller vem som är den egentliga beslutsfattaren. Om kvantifiering av utfall och sannolikheter kan göras är därför beslutsträd att föredra.

I avsnittet nedan ges några exempel på hur multikriteriemetoder kommit till praktisk användning, främst för bedömning och beslutsfattande inom miljöområdet.

8 Praktiska exempel på index eller MCA-metoder

8.1 Vattenkvalitet

Den allmänna miljömedvetenheten har de senare åren vuxit sig stark och gemene man ställer idag krav på att miljön inte förorenas på ett sådant sätt att den innebär en hälso- eller miljöfara. Detta gäller bl a vattendragen och sjöarna vilket har ökat behovet av övervakning. För sådana skäl har speciella, mycket komplexa övervakningsprogram utvecklats. Problemet med dessa program är att de genererar så stora datamängder att det är svårt att tolka och presentera innehållet. Olika indikatorer kan då istället användas. Dessa förenklar förhållandena genom att omvandla datamängderna till klasser över t ex vattenkvaliteten. På så sätt kan jämförelser enkelt göras med olika lagstadgade krav och tidsmässiga och rumsliga variationer i kvaliteten åskådliggöras.

På senare tid har biologiska och ekologiska riskbedömningsmetoder börjat användas, ofta i form av index, för att ge en allomfattande bedömning över den effekt som olika utsläpp ger upphov till. Ett exempel på ett sådant kemiskt index är det som konstruerats av Bach (1980) för att bedöma vattenkvaliteten i rinnande vattendrag. Ett antal kemiska parametrar, indikatorer (kriterier), mäts i olika vattenprover och värdena omvandlas till ett enskilt tal, index, vilket representerar den övergripande vattenkvaliteten i proverna. Det kemiska indexet, CI bestäms genom formeln:

$$CI = \prod_{i=1}^n q_i w_i$$

CI är ett dimensionslöst tal på en skala från 0 till 100 där 0 representerar den sämsta kvaliteten och 100 den bästa. q_i är ett underliggande index för parameter nummer i och härleds ur förbestämda kalibreringskurvor. Det är också ett dimensionslöst tal på en skala från 0 till 100. w_i är en vikt för parameter nummer i . Talet har ett värde mellan 0 och 1 och summan av vikterna är lika med 1.

8.2 Miljöolycksindex

Försvarets forskningsanstalt, FOA (1997), har bl a utvecklat en indexmetod för att bedöma utredningsbehovet vid akuta olycksskador på miljöer i vatten och jord utifrån flera kriterier. I modellen inkluderas endast ett mindre, representativt, urval av kemikalieegenskaper och omgivningsfaktorer. I de fall en slutgiltig bedömning skall göras måste ytterligare faktorer vägas in. I indexet ingår data om:

- Akut toxicitet för vattenlevande organismer - G_i
- Lagrad/transporterad mängd kemikalie - M_i
- Kemikalies spridningsförutsättningar
 1. Kemikalies inneboende rörlighet (konsistens - K_o , vattenlöslighet - L_i)
 2. Omgivningens förmåga att sprida en kemikalie (avstånd till brunn eller vattendrag - O_m , grundvattnets djup och rörlighet, jordens genomtränglighet)

Informationen poängsätts enligt färdiga tabeller och delpoängen från de olika miljöolycksegenskaperna kombineras för att erhålla en komplett bild av den berörda kemikalies potential att orsaka en akut miljöskada. Miljöolycksindexet beräknas enligt nedan:

Miljöolycksindex = $G_i * M_a * [K_o + L_ö + O_m]$

Poängen relateras därefter till en skala som uttrycker utredningsbehovet vilket är alltifrån en farobedömning till en inledande eller t o m fördjupad riskbedömning.

8.3 Indexmetoder och bestämning av brandsäkerhet

Vid institutionen för brandteknik, LTH, pågår för närvarande två projekt, att med hjälp av MADM-metoder och riskindex evaluera brandsäkerhet i byggnad och jämföra risknivåer vid olika utformning av byggnader och skyddssystem. Det första är ett samnordiskt projekt som avser brandsäkerhet i flervåningshus med trästomme (Karlsson 1999) och där framtagandet av vikterna w_i sker med hjälp av Delfi-panelteknik. Det andra avser en bestämning av personsäkerhet vid utrymning och använder även här Delfimetoden för att härleda vikter (Frantzych 2000).

8.4 MADM och fysisk planering

Tanken på att använda multikriterieanalyser som ett instrument inom fysisk planering slog rot i slutet av 1960-talet men började inte växa fram på allvar förrän under senare hälften av 1970-talet (Nijkamp, Rietvald & Voogd 1990). Multikriterieanalyserna kom då i allt högre grad att ersätta, den inom planeringsområdet dominerande, cost-benefitanalysen. Anledningen var att multikriterieanalyserna hade flera fördelar, bl a möjligheten att:

- Medräkna icke påtagliga och ojämförbara faktorer i den konventionella cost-benefit metodologin.
- Införliva flera beslutsfattare i processen.
- Ta hänsyn till flera politiska aspekter och kunskaper från olika discipliner
- Framställa flera alternativa lösningar från vilka ett val kan göras.
- Se till externa effekter och regionala fördelningsfrågor.

Multikriterieanalyserna kan på ett systematiskt sätt framhålla information om förhållandena i en konfliktsituation så att eventuella avvägningar kan göras transparenta för en beslutsfattare. De kan användas som en del i den fysiska planeringsprocessen för att analysera konsekvenserna av olika strategier i en s k *Spatial Impact Analysis*. Rumsligt sett innefattar sådana analyser två viktiga aspekter (Nijkamp, Rietvald & Voogd 1990):

- De berör en mängd olika sektorer (transporter, bostadssektorn, industri etc).
- Man handskas med ett öppet system vilket innebär att effekter kan flyta över gränserna och att effekter på olika nivåer därför måste tas med i beräkningarna. En rumslig konsekvensanalys är sålunda tvungen att ta hänsyn till, inte bara direkta effekter, utan även andra och tredje gradens effekter.

När väl de olika konsekvenserna har identifierats viktas den relativa betydelsen av dessa. Detta kan göras med diverse olika metoder och har diskuterats i avsnitt 6 och 7. I planeringssammanhang kan viktningen gälla en värdering mellan olika aspekter av att köra bil eller åka buss längs en sträcka (kostnad, säkerhet o s v). Vad beträffar själva multikriteriemetoderna finns det flera att välja på med olika egenskaper. De kan ha förmågan att framställa olika många alternativ och vara av kvalitativ eller kvantitativ art. Innan personatorernas stora genombrott användes ofta värderingsmatriser för att analysera de olika alternativen. I dag kan multikriteriemetoder integreras med GIS vilket innebär stora förenklingar, visuella förbättringar och betydligt fler möjligheter. I avsnitt 9.3 nedan redovisas detta mer i detalj.

9 GIS och risker

9.1 Kunskapsöversikt GIS

Geografiska informationssystem, GIS, har sedan det utvecklades på 1970-talet alltmer kommit att användas som ett verktyg för att bedöma och hantera risker i samhället. Med hjälp av GIS kan man på ett smidigt sätt identifiera konfliktpunkter i rummet mellan riskkälla och utsatta objekt/subjekt. Nedan följer först en översikt över GIS allmänna uppbyggnad och därefter ges några exempel på hur det används i risksammanhang.

GIS är ett datorbaserat informationssystem för hantering, analys och presentation av geografiska data och deras attribut. Med hjälp av GIS-program bygger man upp en modell av verkligheten genom registrering och digitalisering av rumsliga och icke rumsliga data och presenterar denna information i kartform. Figur 9.1 visar processen med att bygga upp en representation av verkligheten i ett GIS (Bernhardsen 1992).

I det första steget sammanställs en modell av verkligheten, bestående av *entiteter* (ruta ett och två). Entiteter är fenomen i den verkliga världen som inte kan delas upp i flera företeelser av samma sort, t ex *hus*, *träd* etc. Till varje entitet hör ett eller flera attribut av något slag som grundläggande beskriver karakteristiken. Ett *hus* kan exempelvis bestå av tegel, vara rött osv. Attributen kan vara i såväl kvantitativ som kvalitativ form. De olika entiteterna har oftast någon form av relation med varandra. T ex kan ett hus tillhöra en fastighet, innehålla en viss verksamhet etc. Sådana egenskaper som en människa uppfattar intuitivt måste beskrivas ingående för att kunna användas i en dator. En dator kan inte hantera ett hus som sådant. Den kan däremot hantera geometriska objekt som punkter linjer och areor. I ett GIS är det dessa objekt som bär med sig informationen (t ex en polygon som föreställer ett hus). Verklighetsmodellen måste därför transformeras till en datamodell för att kunna användas i GIS (ruta tre i figur 9.1 ovan).

I figur 9.1 framgår det att objekten karakteriseras av typ, attribut, relationer, geometri och kvalitet. Objekten kan vara fysiska, bestå av klassifikationer, vara händelser, artificiella etc. De representeras grafiskt av punkter (ingen dimension) linjer (vektor) och areor (innesluten av en polygon eller i rasterform).

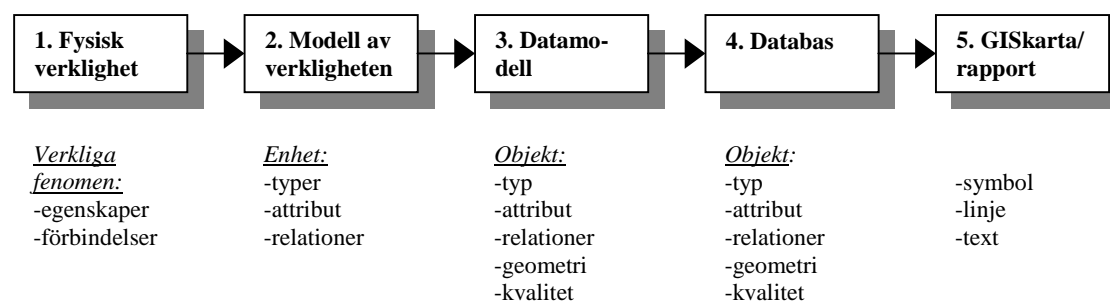
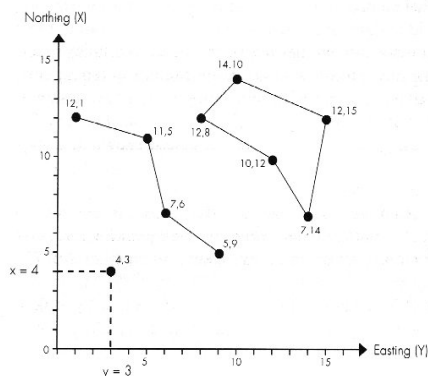
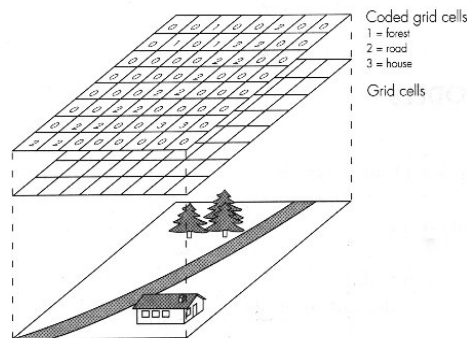


Fig 9.1 Processen att omforma den fysiska verkligheten till en digital karta
Källa: Bernhardsen 1992



Figur 9.2 Exempel på hur objekt är uppbyggda i en vektormodell
Källa: Bernhardsen 1992



Figur 9.3 Exempel på hur informationen presenteras i en rastermodell
Källa: Bernhardsen 1992

Informationen om objektens attribut lagras i databaser (ruta fyra) med en referens till objektet. Objektens relationer kan delas in i sådana som:

1. Kan beräknas från a) objektens koordinater; b) objektens struktur (t ex ändpunkt på linje).
2. Måste infogas som attribut.

Kvaliteten i slutresultatet bestäms bl a av objektbeskrivningens kvalitet, t ex grafisk noggrannhet, uppdateringsmöjligheter och upplösning. En lämplig databas väljs med hänsyn till datainsamling, kontroll, struktur, lagring, analysförmåga etc.

Objekten och deras attribut lagras i olika lager i GIS. Man skiljer mellan raster- och vektorlager (se figur 9.2 och 9.3). De *vektorbaserade* byggs upp av punkter, linjer och polygoner. En linje är uppbyggd av två eller flera punkter som är sammankopplade. Polygoner består av en uppsättning punkter som är sammankopplade och där den första och sista koordinaten i serien är identiska.

Det andra sättet att lagra information på är i form av *raster*, d v s i ett fält med regelbundet mönster bestående av olika celler. Varje cell tilldelas ett värde med avseende på vad som skall representeras i verkligheten (t ex 1 för skog 2 för åker etc). Cellvärdena kan referera till fysiska variabler men kan också redogöra för avstånd m m. En cell kan endast tilldelas ett värde. Inom varje cell anses därför samma förhållande råda vilket kan innebära en förenkling av verkligheten. Resolutionen beror på cellstorleken och är konstant. Den geometriska läget för varje cell bestäms av dess rad och kolumnnummer. Genom att använda flera lager kan objekten omfatta flera attribut. Rasterbaserade system innehåller därför ofta många lager. Raster och vektordata används med olika syften då för- och nackdelar varierar. I tabell 9.1 görs en överskådlig analys över dessa.

Tabell 9.1 Jämförelse mellan raster- och vektormodeller i GIS.

	Raster	Vektor
Geometrisk noggrannhet	<i>Låg</i>	<i>Hög</i>
Struktur	<i>Enkel</i>	<i>Komplicerad</i>
Explicit topologi	<i>Finns inte</i>	<i>Finns</i>
Datainsamling	<i>Snabb</i>	<i>Långsam</i>
Nätverksanalys	<i>Dålig</i>	<i>Bra</i>
Areanalyt	<i>Bra</i>	<i>Medelbra</i>
Attributhantering	<i>Svårare</i>	<i>Lätt</i>

Generellt kan sägas om GIS att flexibiliteten och modelleringsmöjligheterna är stora och flera olika framställningar kan lätt göras då väl informationen lagrats. De möjligheter som föreligger med ett GIS innefattar bl a:

- Beskrivning av position och utbredning av olika objekt.
- Beskrivning av rumslig fördelning mellan olika fenomen.
- Beskriva förändringar i tiden.
- Beskriva förhållanden och samverkan mellan olika teman.
- Studera flöden.
- Modellera situationer.
- Ställa interaktiva frågor.
- Hantera olika geometriska problem.

Det finns åtminstone två större nackdelar med dagens GIS i avseende att hantera risker. Den ena är att deras analytiska kapacitet oftast är begränsad till enklare statistiska analyser, t ex beräkna buffertområden och utföra nätverksanalyser, eftersom de saknar de dynamiska modellerande egenskaperna (Fedra 1997). De måste därför länkas till andra program med förmåga att t ex beräkna spridning av utsläpp av skadliga ämnen eller väga in mänskliga värderingar. Den andra nackdelen är risken för felanvändning och feltolkning (Oceansconservation, <http://www.oceansconservation.com/iczm/canessa2.htm> 1999-10-13). En beslutsfattare i riskfrågor med liten kunskap om GIS och statistik kan därför vara i behov av ett beslutsstödjande system, så kallat DSS (Decision Support System - se avsnitt 9.3), som hjälper henne med dessa aspekter.

I det följande görs först en översikt över hur GIS kan sammankopplas med andra modeller för att beräkna risker, i det här fallet från spridning av utsläpp. Därefter visas hur GIS kan sammankopplas med multikriteriemetoder och beslutsstödjande system så att hänsyn kan tas till en mängd relevanta men svåröverskådliga riskkriterier.

9.2 GIS som ett verktyg för att visa spridning av utsläpp och beräkna riskavstånd

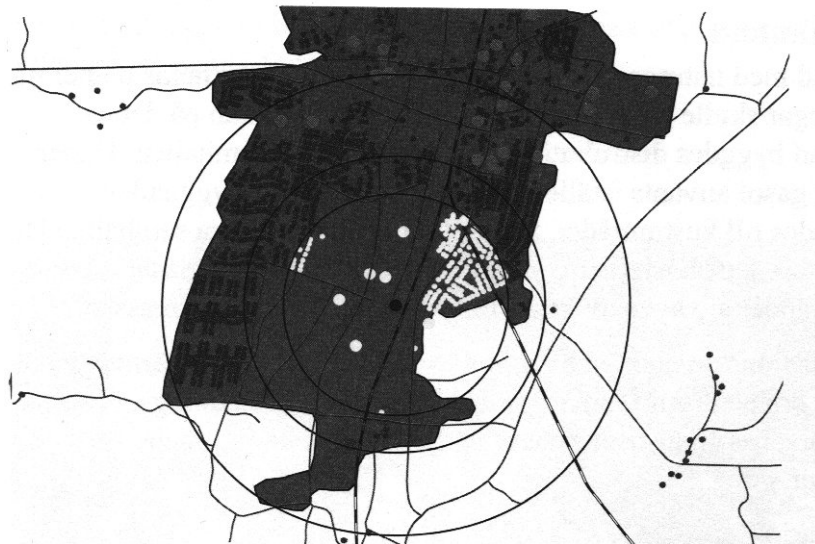
Många samhällsrisker härstammar från skadliga ämnen som sprids i rummet, antingen i samband med industriella aktiviteter eller mer diffust, som en följd av urbaniseringen och det moderna jordbruket (Gheorghe & Nicolet-Monnier 1995). En mängd metoder och modeller har utvecklats för att beräkna spridningsmönstret från de olika källorna. Komplexiteten man kan/bör ta hänsyn till är enorm. För att göra korrekta beräkningar måste flera aspekter beaktas; det specifika ämnet (attribut), hur det sprids från källan (t ex höjd på skorsten, spridnings-

vägar (luft, vatten, jord), meteorologiska förhållanden, topografi etc). Det finns flera modeller för att beräkna riskerna från spridning av skadliga ämnen. En benämning som förekommer för de modeller som beräknar spridning i luft är GPA, Geographic Plume Analysis.

Det har blivit allt vanligare att integrera spridningsmodeller med GIS. Genom att göra så, skapas ett verktyg med mycket god kapacitet för att beräkna, åskådliggöra, simulera och analysera olika utsläpp och händelseförlopp. GIS i kombination med GPA gör det möjligt att jämföra resultatet från spridningsmodellen med annan rumslig information, t ex demografiska och socioekonomiska data och undersöka korrelationer i rummet mellan förekomsten av höga halter av luftföroreningar och invånarnas socioekonomisk status för olika geografiska områden (Osleeb & Kahn 1999).

En nackdel med simuleringar, och spridningsberäkningar i allmänhet som bör påpekas, är att osäkerheten är mycket stor i slutresultatet p g a komplexiteten. Till följd av att stora datamängder krävs för att göra korrekta beräkningar är processen mycket tidskrävande och det är dessutom ofta svårt att få tag på nödvändig information. Noggrannheten kan således vara illusorisk.

Det finns två huvudtyper av spridningsmodeller, de som beräknar riskerna med olycksmässiga utsläpp (säkerhetsrisker) och de som härstammar från den kontinuerliga driften (hälso- och miljörisker). Båda har integrerats med GIS (se bilaga 5 för en överskådlig genomgång av olika spridningsmodeller som existerar på marknaden eller är under utveckling). Vad beträffar olycksriskerna råder det osäkerhet att ett utsläpp sker, var, av vad, under vilken tid och och av vilken kvantitet. Vilka utsläpp som kommer av kontinuerlig drift är ofta känt, men däremot är det inte lika säkert var de sprider sig och vem som drabbas.



Figur 9.4 Ett enkelt exempel på hur gränserna för brännskador vid en olycka kan ritas upp med GIS för att bedöma risker. Det är även möjligt att m h a GIS beräkna riskkonturer som visar den individuella risken för dödsfall (se figur B1.A1).

Källa: Johansson 1996

9.3 GIS, multikriteriemetoder och beslutsstödjande system, SDSS

En målsättning med IRRASM är att försöka ta hänsyn till flera olika kriterier för att bedöma och ta beslut i risksituationer. Det gäller t ex vid rumsliga konfliktsituationer där det inte existerar någon uppenbart optimal lösning. Beslutsfattande baserat på multikriteriemetoder ger, vilket bl a beskrivits i avsnitt 6, 7 och 8 ökade möjligheter att analysera komplicerade avvägningar som måste göras mellan olika mål, utveckla alternativa lösningar, ta med beslutsfattarens preferenser i beräkningarna och utvärdera alternativ grundade på flera beslutsfaktorer.

Rumslig multikriterieanalys kan ses som en process i vilken rumsliga och icke rumsliga data kombineras och omvandlas till ett beslut (Malczewski 1999). I proceduren integreras, förutom rumsliga data, beslutsfattarens preferenser och data i enlighet med för situationen specificerade beslutsregler. Att bygga upp en rumslig multikriterieanalys kring ett GIS gör det möjligt att åskådliggöra och identifiera de problem som existerar i den komplexa situationen. Det möjliggör snabb simulering av konsekvenserna av en viss åtgärd och att konstatera och utvärdera resultatet. Ett problem med att utföra analyser i dagens GIS är, som tidigare påtalats, att de GIS som förekommer oftast har förmågan att endast handskas med flera kriterier genom deterministiska analyser (d v s jämföra olika lager med varandra). Möjligheterna till dynamiska undersökningar är begränsade. Genom att integrera multikriterieanalyser, MCA¹⁹, så som de beskrivits i kap 6 med GIS blir det emellertid möjligt att integrera mänskliga värden och prioriteringar.

Centralt för rumsliga multikriterie-beslutsanalyser baserade på en kombination av GIS och MCDM är:

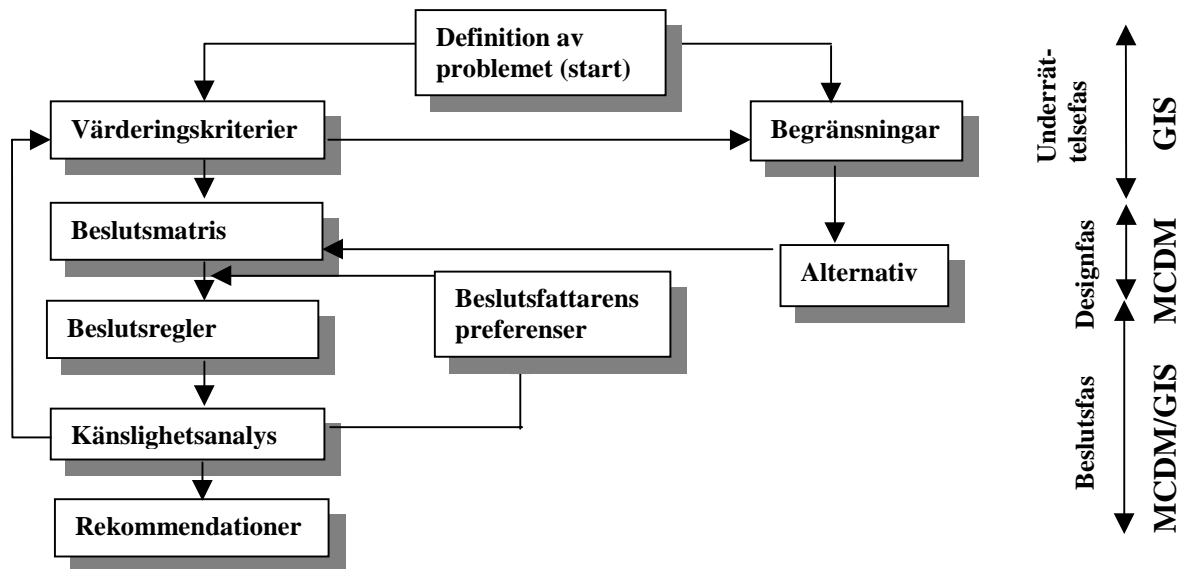
1. GIS förmåga vad beträffar datainsamling, lagring, uppdatering, manipulation och analys.
2. MCDM-verktygets kapacitet vad beträffar sammanställning av rumsliga data och beslutsfattarens preferenser och att omvandla dessa till endimensionella värden för att fatta olika alternativa beslut. Detta innebär en kapacitet att kunna göra komplicerade avvägningar mellan multipla värderingskriterier samtidigt som hänsyn tas till beslutsfattarens preferenser.

Vi har tidigare (se avsnitt 6.2) beskrivit tio led i beslutsprocessen. Simon (1960) gör en grövre och något annorlunda indelning i tre faser:

- Föreligger det ett problem (underrättelsefas)?
- Vilka är alternativen (designfas)?
- Vilka alternativ är bäst (beslutsfas)?

GIS och MCDM används i varierande grad vid olika tillfällen i beslutsprocessen. GIS spelar en viktig roll i de tidigare stegen medan betydelsen av MCDM ökar efterhand (se figur 9.4). GIS är ett viktigt verktyg för att definiera problemet och samla in och lagra data. M h a olika funktioner kan även olika besluts- och värderingskriterier omvandlas och överföras till en databas.

¹⁹ Läsaren görs åter uppmärksam på att MCA och MCDM behandlas synonymt i rapporten



Figur 9.4 Processen med att samla in data och sammanställa informationen för att ta ett beslut
Källa: Malczewski 1999

När väl problemet definierats, koncentreras den rumsliga analysen till att utforma en uppsättning värderingskriterier (attribut eller mål se avsnitt 6 beträffande MCDM och MADM). I detta steget specificeras:

1. Den uppsättning mål som speglar alla intressen i problemet.
2. Vilka mått som behöver vidtas för att uppnå dessa mål (vilka attribut berörs?).

Målen och de underliggande attributen bygger upp en hierarkisk struktur av värderingskriterier för en enskild beslutssituation. Den hierarkiska strukturen måste kunna redovisas som enskilda kriterie i lagren i GIS. En uppsättning kriteriekartor representerar därmed ett särskilt beslutsproblem. De olika kriterierna viktas med hänsyn till dess betydelse i ett specifikt problem. Några vanliga metoder för kriterieviktning är *rangordning*, *gradering*, *parvis jämförelse och trade-offanalys* (se bl a avsnitt 7.1). Användbarheten hos de olika metoderna varierar beroende på behovet av noggrannhet, kunskapen hos beslutsfattaren, tillgången till programvara mm.

För att aggregera de olika kriterielagren används en, för ändamålet lämplig, beslutsregel eller aggregeringsfunktion som presenterar beslutsalternativen. En sådan beslutsregel strukturerar alla alternativ i enlighet med hur de samspelar med värderingskriterierna. *Simple additive weighting*, SAW och *analytical hierarchical process* är några exempel som tidigare diskuterats i avsnitt 7. SAW är en av de vanligaste metoderna och kan användas med ett vanligt GIS i såväl raster- som vektormiljö (Malczewski 1999). Beslutsproblemet handlar därmed om att identifiera de beslutsalternativ som ger det bästa resultatet, d v s högst poäng.

De rumsliga multikriterieanalyserna brukar ibland följas av en känslighetsanalys för att definiera osäkerheten i resultatet. Osäkerheten kan bero på den uppsättning data som kartorna baseras på men också på osäkerheten i specificeringen av beslutsfattarens preferenser (hur väl

beslutsfattaren kan precisera sina preferenser och viktningar). Känslighetsanalysen visar bl a hur olika beslutselement samverkar och är en viktig del i det slutliga beslutsfattandet.

Spatial Decision Support Systems, SDSS, är en vidareutveckling av multikriteriemetoder i kombination med GIS. SDSS kan definieras som en rumslig beslutsfattandeprocess i vilken interaktiva datorbaserade program (t ex baserade på GIS) används tillsammans med analysmetoder (MCA), beslutsteorier, expertkunskap, optimeringsalgorithmer etc för att bygga upp preskriptiva eller optimerande modeller som stödjer beslutsfattaren då han skall göra sina val. Modellerna skall kunna framställa och undersöka olika alternativ, analysera alternativens konsekvenser och i slutänden bidra till att ett för situationen, och användaren, optimalt val kan göras (<http://blaze.trentu.ca/~ermlc/proposal.html> 1999-10-13 & Oceanconservation, <http://www.oceanconservation.com> 1999-10-13).

Det är inte lätt att finna någon koncis eller konsekvent definition av SDSS. En skillnad mellan SDSS och MCA är att SDSS, med sitt användarvänliga gränssnitt och inbyggda expertkunskap, vänder sig till icke-expertter som har ett intresse i ett rumsligt problem, t ex hur ett stycke mark bör användas, men som inte har kunskapen och förmågan att i komplexa situationer identifiera konsekvenserna av de olika alternativ som kan föreligga. Med ett SDSS är det emellertid möjligt att på egen hand interaktivt modellera fram olika förslag och få dem bedömda av systemet omedelbart. Det kan ses som en iterativ process där målet är att på ett pedagogiskt sätt nå fram till en tillbörlig lösning. Ett SDSS måste sammanfattningsvis kunna (<http://blaze.trentu.ca/~ermlc/proposal.html> 1999-10-13):

- Hjälpa till med att finna lösningar till komplexa problem.
- Snabbt kunna svara på oväntade situationer som uppstår p g a förändrade förhållanden.
- Testa olika lösningar i olika konfigurationer, snabbt och objektivt.
- Hjälpa till med kontroll och verkställande.
- Vara kostnadsbesparande.
- Tillhandahålla objektiva lösningar.

Exempel på rumsliga problem med riskanknytning, där SDSS utgör ett lämpligt verktyg, är då beslut om slutförvaring av radioaktivt avfall skall tas, var räddningstjänsten i kommunen bör placeras etc. SDSS hjälper sålunda till med att integrera allmänhetens röster i de politiska besluten. I avsnitt 11.3.1 ges några exempel på hur GIS, MCA och SDSS kombinerats och gjorts tillgängliga för en större grupp människor genom interna nätverk eller Internet.

I kapitel 10 nedan åskådliggörs hur GIS alltmer kommit att användas som ett centralt verktyg inom en annan sfär av riskhanteringen, den operativa sidan. Här demonstreras också kort hur GIS sammankopplat med andra verktyg (GPS, beslutsstödjande metoder, telekommunikation etc) progressivt förbättrar möjligheterna för denna typ av riskhantering.

10 Verktyg för operativ riskhantering med stöd av GIS och GPS

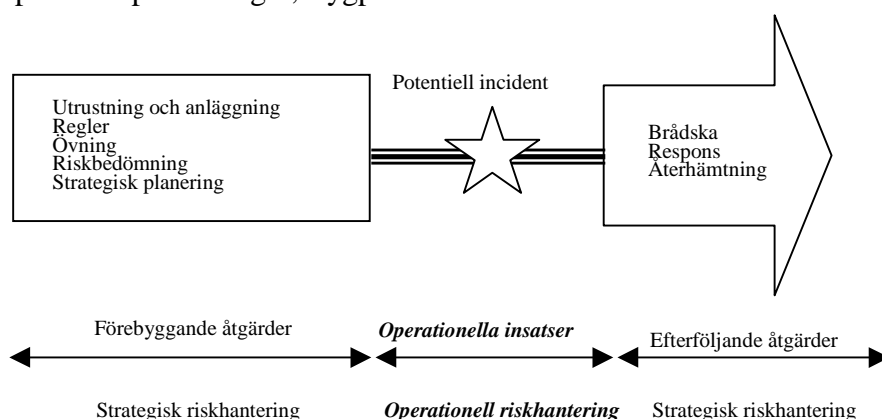
10.1 Översiktlig genomgång

Den tekniska utvecklingens betydelse för hantering av risker är tudelad. Å ena sidan ger tekniken upphov till komplexa och svårbedömda, ofta diffusa, risker. Å andra sidan ger avancerad teknik fler möjligheter att kontrollera och hantera risker i tid och rum. I detta avsnitt fokuseras på den senare aspekten.

Den traditionella riskhanteringen kretsar ofta kring strategiska lösningar sett ur ett sekvensperspektiv (se figur 10.1). Detta innebär att tyngdpunkten ligger på förebyggande och återuppbyggande åtgärder. Beroggi (1998) menar att det strategiska tillvägagångssättet i högre grad än vad som är fallet idag måste kompletteras med ett operativt. Operationell riskhantering handlar om att agera då en incident inträffar, d v s i realtid. Det medför att det rådande tillståndet kontinuerligt måste kännas av²⁰ och jämföras med ett önskat, stabilt. Om det förekommer en avvikelse däremellan gäller det att på olika sätt agera för att nå det önskvärda tillståndet.

Operativ riskhantering kräver att riskerna kan övervakas på avstånd, helst i realtid. Avancerad teknik är ett outhärligt hjälpmedel för att kunna samla in data och snabbt sända den vidare till en mottagare. En viktig förutsättning för detta är goda kommunikationsmöjligheter. Kapaciteten inom telekommunikationsområdet förbättras ständigt vilket möjliggör mycket snabb överföring av stora informationsmängder till förhållandevis små kostnader över globala avstånd. Framväxten av system som Internet ger nya möjligheter för realtidskommunikation av ljud och bild för allmänheten (Beroggi 1996). De sändande och mottagande enheterna behöver inte heller vara uppkopplade till ett fast fysiskt system utan är i allt högre grad mobila.

Fjärranalys är ett samlingsnamn för olika tekniska metoder som på avstånd kan samla in, bearbeta och presentera data om land, miljö, vatten och atmosfär (Swedish National Space Board, <http://nos.snsb.se/FAK/jordobs.html> 1999-10-11). För detta används en form av sensor, radar, ekolod, sonar m m, som analyserar signaler från det studerade objektet. Sensorn kan vara placerad på ballonger, flygplan och satelliter etc.



Figur 10.1 Olika tillvägagångssätt vid riskhantering
Källa: Beroggi & Wallace 1998

²⁰ Monitoring

De satellitburna systemen är emellertid de som ger upphov till det stora intresset för fjärranalys. Fjärranalys används i allt högre omfattning för miljöövervakning, från lokal till global nivå och för att bedöma risker. Såväl naturrelaterade risker (översvämningar, skogsbränder) som de som är en produkt av industrisamhället (luftföroreningar) är möjliga att identifiera, övervaka och bedöma (Corrêa m fl, <http://www.gfz-potsdam.de/wc98/abstract/correa.html> 1999-11-14). Fjärranalys fyller alltså en viktig funktion för såväl operativa, momentana insatser, som för att kontinuerligt övervaka risker. Kopplat till ett GIS möjliggörs övervakning och analys av stora ytor i realtid från en eller flera arbetsstationer. Möjligheterna att övervaka risker får betraktas som goda idag. Men operativ riskhantering handlar inte bara om övervakning utan även om att resonera och ingripa. I avsnitt 9.3 diskuterades utförligt nyttan med att integrera GIS med olika beslutsstödjande metoder som hjälp för att fatta beslut i komplexa situationer. En sådan beslutshjälpande struktur kan bl a användas som stöd vid akuta olyckor, då beslut måste fattas under stark tidspress och där konsekvenserna kan bli allvarliga av att fel beslut tas

Ett område där operativ riskhantering håller på att slå igenom är vid *transporter av farligt gods*. Strategisk planering för val av lämpliga vägar för transport med farligt gods påbörjades för flera decennier sedan. De senaste åren har emellertid även fördelarna med operativ riskhantering börjat uppmärksammas då man alltmer insett att strategisk planering kräver att mängder med information måste samlas in vilket är tidsödande. Ett annat skäl är att avancerad teknik blivit allt mer (kostnadsmässigt) tillgänglig men också så pass flexibel och användarvänlig att det inte krävs flera års specialutbildning för att kunna bruka den.

Tekniska hjälpmedel som GPS (Global Positioning System) möjliggör lägesbestämning med en noggrannhet på en meter²¹. Detta innebär stora skillnader mot tidigare vad avser övervakning av t ex mobila transporter. Med hjälp av givare som fästs på de fordon som övervakas kan deras förflyttningar i rummet studeras i realtid vilket gör att en operatör vid en arbetsstation på långt avstånd kan ha uppsikt över fordonens position, och dirigera och styra om dem vid behov (se figur 10.2).

Miljön för operativ hantering av transporter i realtid består av tre element:

1. En operatör som övervakar systemet och som guidar fordonen vid incidenter i realtid. Till sin hjälp har övervakaren verktyg och medarbetare på fältet samt beslutsmodeller.
2. Ett transportsystem bestående av nätverk, fordon och omgivande miljö.
3. Kommunikationslänkar mellan högkvarteret och transportsystemet.

De beslutsmodeller som skall stötta övervakaren med att rekommendera vägval bör kunna:

- 1) Identifiera områden som kan beröras i nätverket.
- 2) Bedöma påverkan.
- 3) Identifiera berörda fordon.
- 4) Ta beslut om ändringar av vägval för den berörda transporten.

²¹ I geodetiska sammanhang är noggrannheten några millimeter (Bra Böcker 1994). I Europa finns även alternativet EutelTracs med syfte att positionsbestämma mobila objekt.

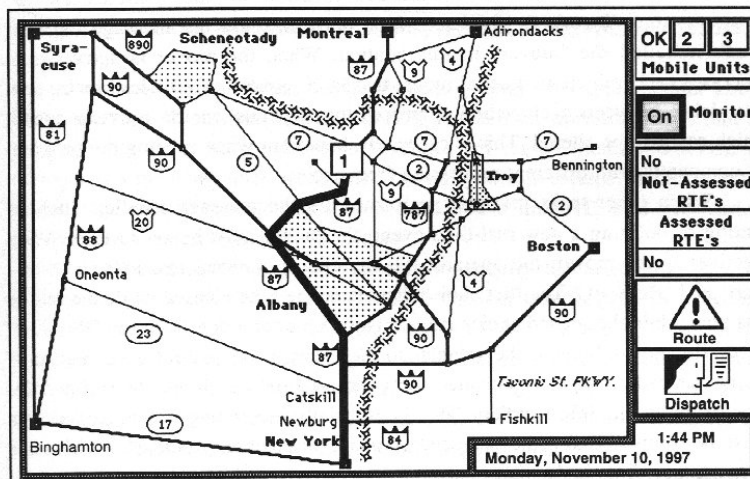


Fig 10.2 Exempel på skärmbildens utseende i ett beslutsstödssystem vad beträffar transport av farligt gods.
Källa: Beroggi & Wallace 1998

Figur 10.2 visar ett exempel på en övervakningsskärm i ett beslutsstödsystem i GIS-miljö där syftet är att fatta beslut vid transport av farligt gods. Genom att peka på olika objekt, t ex fordon i rörelse, på skärmen är det möjligt att erhålla olika sorters information. Systemet ger information om realtidsincidenter inträffar, samtidigt som det är möjligt att få förslag på nya vägalternativ enligt olika kriterier.

Det finns en mängd tekniska verktyg utöver de som redan räknats upp som är lämpliga att använda för riskhantering operativt. Beroggi (1996) gör en uppräknig av några av de viktigaste i tabell 10.1. Potentialen blir mycket stor när de olika teknologiska systemen och komponenterna integreras (Fedra 1996, Beroggi 1996). Det finns flera intressanta möjligheter att skraddarsy olika tekniska system men alla kan inte redovisas i rapporten.

Beroggi nämner vikten av att integrera den nya tekniken på alla nivåer i samhället. På mikronivå bör den nya tekniken användas för att skapa uppgiftsspecifika och effektiva beslutsstödjande system. Potentiella användare och beslutsfattare måste identifieras på ett tidigt stadium i designprocessen. Gränssnittet mellan människa och maskin måste utformas med eftertanke. På mesonivå bör en översyn, utvärdering och jämförelse ständigt göras mellan de gamla och nya systemen. På makronivå kan politiken stödja utveckling, bedömning och införande av ny teknik i den regionala säkerhetshandlingen. Lokala, nationella och internationella organisationer och myndigheter delar ansvaret för detta. Det måste också fastställas i vilka lägen människan kan ersättas med automatisk kontrollfunktion. Även om maskiner förbättrar övervakningsförmågan bär de också med sig nya typer av risker. Detta är ett område som behöver utforskas vidare.

Tabell 10.1 Applikationer för olika tekniker
Källa: Beroggi 1996

<i>Verktyg</i>	<i>Betyder</i>	<i>applikationer</i>
DAT	Beslutsstödjande tekniker	analys av olycksfall anpassningsbara kontrollsystem policyanalyser
ASS	Animerade simulationssystem	dynamisk modellerande numeriskt beräkande
GIS	Geografiska informationssystem	rumsligt beslutsfattande riskanalys
HMS	Hyper och multimediasystem	akutåtgärder riskanalyser
VRT	Virtuella reality teknologi	genererar scenarier teleoperationer, telenärvaro
TCS	Telekommunikationsservice	videokonferenser elektroniska mail tillgång till avlägsna databaser
STS	Satellitspårssystem	övervakning och kontroll transporthantering spårning av farliga ämnen
EGS	Elektroniska gruppsystem	brainstorming förhandling konfliktlösningar

Del III

IRRASM – Översikt över några praktiska ansatser och miljöer

11 IRRASM-ansatser i praktiken

11.1 Inledning

I detta avsnittet redogörs för några konkreta fall där en integrativ och rumslig ansats använts. Liksom i följande avsnitt 12 och 13 kan det konstateras att det inte är möjligt att redovisa allt som åstadkommit. Istället ges här endast några exempel på vad som försiggår eller har gjorts inom några områden. Det är tydligt av exemplen nedan att integrativa bedömningsmetoder utvecklats inom framför allt två områden, spridningsmodeller och att försöka integrera många olika aktörer för att bedöma risksituationer i rummet.

11.2 Praktiska ansatser till integrerade studier byggda på spridningsmodeller

Som tidigare fastställts utgör utsläpp av skadliga ämnen betydande risker mot miljö och hälsa i det industrialiserade samhället. För att bedöma hälsorisker eller risker mot ekosystem från kontinuerliga eller olycksmissiga utsläpp används olika spridningsmodeller.

Flera försök görs för att integrera en allt högre komplexitet i dessa modeller. I bilaga 5 redovisas några exempel på modeller och metoder för att analysera, värdera och åtgärda olika typer av utsläpp och där man försöker att bredda angreppssättet, rumsligt och/eller integrativt. Det som skiljer de olika modellerna/metoderna åt är bl a i vilken mån de beaktar de faktorer som påverkar spridningen och hur de integrerar tidsmässiga och rumsliga och icke-rumsliga aspekter. Som tidigare påpekats skiljer sig också bedömningarna åt beroende på om de fokuserar på olycksrisker eller risker från kontinuerliga utsläpp.

Fördelningen av risker med avseende på spridning av skadliga ämnen har bl a analyserats ur ett socialt perspektiv. Leitner m fl (1999) refererar till studier som visar på starka korrelationer mellan områden där de socioekonomiska förhållandena bland invånarna är mindre goda och där halterna av skadliga ämnen är höga. Leitner m fl (1999) anser det därför angeläget att utveckla en risksyn som analyserar utsattheten av svagare minoritetsgrupper i samhället för risker som härrör från lagring och tillverkning av farliga ämnen, bl a på regional nivå. Leitner efterlyser också att fler studier görs för att se närmare på riskperceptionens variationer och för att undersöka hur dessa skiljer sig från den fara som bedömts i tidigare steg. Nedan följer en fallstudie där spridningsmodeller använts för att bedöma hälsorisker i ett socialt sammanhang.

11.2.1 Spridningsmodeller och beslutsstödande system – fallstudier

Spridningsmodeller (GPA) har bl a använts i kombination med GIS och SDSS (se avsnitt 9.2) i Greenpoint/Williamsburg, Brooklyn USA, för att undersöka riskerna för hälsa från utsläppen i området (Osleeb & Kahn 1999). Greenpoint/Williamsburg är ett multietniskt område utanför New York och i området är mycket tung industri belägen. Då industrin här givit upphov till svåra luftföroreningar och luktproblem initierades ett miljöprogram, *The Greenpoint/Williamsburg Environmental Benefits Program* för att försöka komma tillrätta med problemen. Som ett led i programmet utvecklades ett GIS för att överblicka den miljömässiga situationen. Till GIS kopplades en omfattande databas bestående av alltifrån demografiska data, hälso- och miljödata och markanvändning till industriella attribut. Dessa olika data lades sedan in i olika lager i GIS. Härigenom kunde systemet nyttjas för att besvara relativt komplexa frågor om risker rörande miljötillstånd, hälsa och sociala aspekter samt dessutom redovisa information i realtid.

Nästa steg som togs i G/WEBP-projektet bestod i att utveckla ett SDSS för att bedöma huruvida tilltänkta anläggningsområden utgjorde riskkällor. Stor vikt lades här vid samspelet mellan risk och jämlikhet, d v s en jämn distribution av riskerna eftersträvades. På så vis försökte man undvika att förvärra situationen i redan utsatta områden. Det jämlikhetsmått som användes var ett index som baserades på information om buller, luftföroreningar och risker för industriolyckor och preciserades för varje delområde i samhället²². Ändamålet var dels att minimera exponeringen av befolkningen i stort för farliga ämnen men också reducera utsattheten hos den mest sårbara populationen (äldre och barn under 5 år).

I en tredje fas försökte man bedöma den miljömässiga belastningen i varje delområde utifrån olika aspekter som t ex buller och dålig luft. Ett GPA integrerades härmed med det GIS som utvecklats i projektet och användes för att bestämma inverkan av utsläpp till luft. En intressant slutsats som kunde dras var att i ett så ojämnt belastat område som Greenpoint/Williamsburg skulle ett större antal mindre anläggningar endast förstärka den existerande ojämlikheten jämfört med om man skulle uppföra färre men större anläggningar.

11.2.2 Transport av farligt gods – konventionell riskanalys

Transporter av farligt gods är, som tidigare konstaterats, ett område där man tidigt insett nödvändigheten i att anlägga ett brett perspektiv för att bedöma risker. Längs en vägdragning skiftar omgivningen och dess sammansättning kontinuerligt, av vilket naturligtvis följer att även risken ändrar karaktär högst påtagligt. Ofta används inte desto mindre generaliserade riskberäkningar vid transport av farligt gods. Bedömning av sannolikhet för att olyckor skall inträffa utförs med hjälp av befintlig olycksstatistik och antaganden görs för att uppskatta konsekvenserna.

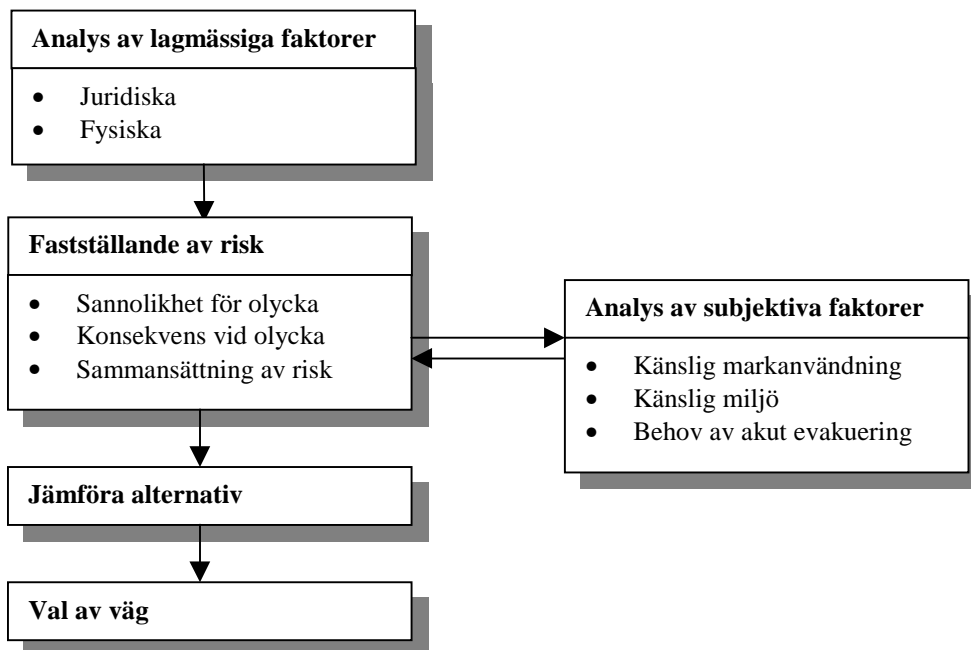
IAEA (1998) menar att tre huvudelement är särskilt viktiga att beakta vid sådana riskberäkningar:

1. Miljö och markanvändning. I detta ingår identifikation och kvantifiering av risker mot människor, egendom och miljö
2. Nätverkets kapacitet och kummulative följder. Med detta avses övergripande trafikrörelser, trafikstockningar och servicenivåer på potentiella vägar, olyckstal, vägförhållanden etc.
3. Ekonomisk fördelningshänsyn och operatörens krav vad beträffar praktisk transportekonomi. Hänsyn måste tas till avstånd, tid och transportkostnader för alternativa vägar.

En integrativ riskbedömning av en sträcka eller ett försök att utforma alternativa vägar för transport av farligt gods förutsätter en kvantifiering och viktning av de tre elementen. För att kunna uppskatta *konsekvenserna* av olyckor med transport av farligt gods krävs data om egenskaperna hos det ämne som transporteras, transportsättet, lagrings- och transportvillkor, lastens kvantitet, topografi, markanvändning och befolkningsdensitet. Uppskattning av *sannolikhet* för att olycka skall inträffa kan utföras i följande steg:

1. Fastställ olycksförhållandena på den berörda vägsträckan.
2. Beräkna sannolikheten för att en olycka skall ske med hänsyn till fordonen på vägsträckan.
3. Resultatet i steg två multipliceras med en olycksfaktor för farligt gods (d v s steg 2 * antal farligt gods-transporter / alla olyckor med transportfordon).

²² Referensen redovisar inte närmare hur detta index konstruerats



Figur 11.1 Exempel på ett tillvägagångssättet vid bedömning av transportrisker
Källa: IAEA m fl 1998

För att beräkna transportrisken multipliceras den potentiella konsekvensen med sannolikheten för att en olycka skall uppstå för varje segment av vägen. Det är därefter nödvändigt att räkna om sannolikheten för att en olycka skall inträffa till en sannolikhet för att påverkan skall ske, d v s kommer det utspilda materialet att nå ett känsligt område? Detta kan göras med hjälp av händelseträd (se bl a avsnitt 2).

De faktorer som påverkar beslut om vägval ur ett miljösäkerhetsperspektiv kan sammanfattas i kategorierna:

- Juridiska och fysiska begränsningar.
- Risker mot miljö och markanvändning. I detta inkluderas identifikation av riskkällor och kvantifiering av risker.
- Subjektiva faktorer som speglar samhällets prioriteringar och värden som inte så lätt kan kvantifieras. Det kan t ex gälla en önskan om att försöka undvika att dra transportvägar i närheten av skolor, sjukhus etc.

I Sverige har ett omfattande utredningsarbete gjorts av VTI vilket bl a resulterat i en handbok *Farligt gods – riskbedömning vid transport* från Statens räddningsverk (1996).

11.2.3 Transport av farligt gods – Hot Spots

Gheorghe m fl (1999) forskar i en alternativ metod för att beräkna risker i transportsystem där större hänsyn tas till rumsliga förhållanden än vad som är brukligt. Syftet är att åskådliggöra sk hot spots. Hot spots kan definieras som områden där sannolikheten är hög för att en olycka

skall ske och där konsekvenserna kan bli allvarliga. Detta innebär en selektiv beräkning av sannolikhet och konsekvens.

Metodiken för att komma fram till hot spots består i att tillämpa en särskild uppsättning *regler* och en GIS-baserad miljö i kombination med så kallade känsliga områden (floder, grundvattenbefolkade områden etc). Reglerna baseras på olycksanalyser och en undersökning av underliggande skäl och transportproceduren. I ett beslutsstödjande system (DSS) kombineras reglerna (i form av ett lager) med övriga lager av relevant information. Det beslutsstödjande systemet används för att bedöma det rumsliga och tidsmässiga mönstret av ett utsläpp från en eller flera källor. Innehållet i DSS-strukturen inkluderar:

- Optimerings- och simuleringsmodeller.
- Geografisk representation av data, information, kunskap och resultat i GIS-miljö.
- Hypertextkunskap och informationsbehandling.
- Rangordningsprocedurer för olika vägval och val av hanteringsstrategier.

Reglerna har förmågan att finna kritiska konstellationer mellan de element som förekommer i ett transportsystem (t ex körbana, underhåll och befolkningsdensitet). Risken som kan uppstå till följd av att en olycka inträffar kan beräknas i två steg. I första steget används GIS-informationen för att beräkna hot spots. I det andra steget utförs en riskbedömning baserad på en scenarioanalys för varje enskild hot spot på sträckan. Genom att summera dessa erhålls en riskuppskattning för hela vägstycket.

11.2.4 ARIPAR-projektet

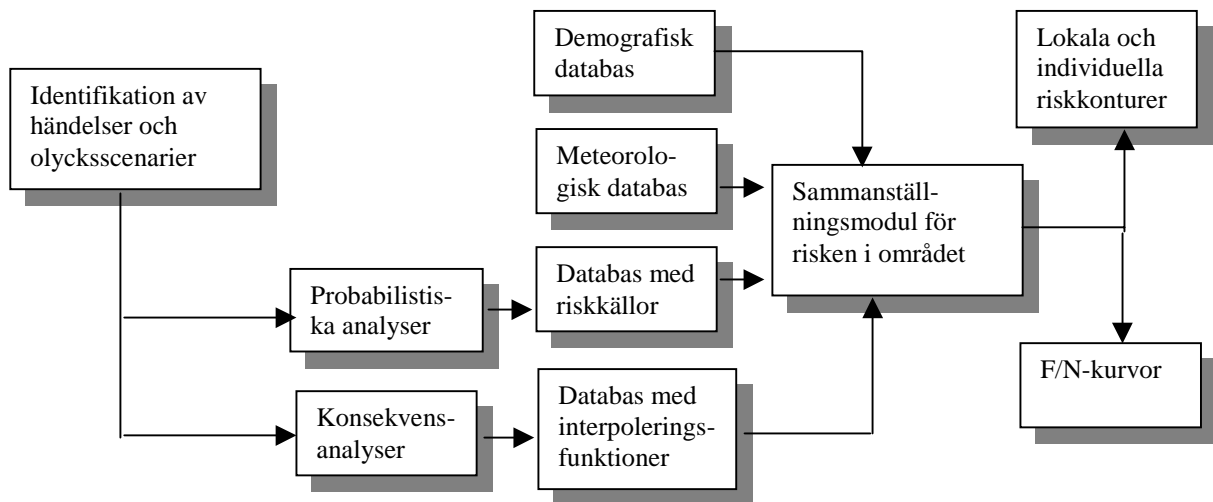
ARIPAR-projektet var ett relativt tidigt (1995) försök att kvantitativt bedöma flera säkerhetsrisker med avseende på tillverkning lagring, hantering och transport av farliga ämnen i Ravennas (Italien) industri- och hamnområde. Syftet var att samla in information för att (Egidi 1995):

- Prioritera åtgärder för att reducera konsekvenserna vid en olycka.
- Ta hänsyn till riskerna i den urbana fysiska planeringen.
- Planera för förbättringar i transportinfrastrukturen.
- Utvärdera kompatibiliteten mellan ny utveckling av industrin i förhållande till den befintliga markanvändningen.

I projektet inbjöds alla berörda parter (industrin, kommersiella organisationer, myndigheter och delar av allmänheten) som kan tänkas ha ett intresse att övervaka och delta i processen²³. I ett första steg inventerades riskkällorna i regionen. Två områden definierades, ett med riskkällor och ett där påverkan kunde ske. Data om befolkning, turistströmmar, sårbara punkter och tillgänglig infrastruktur vid en eventuell olycka samlades in. I steg två identifierades och rangordnades potentiella olycksscenarioer för varje riskkälla med hänsyn till det bidrag till den samlade risken i området som de utgjorde. För de fasta riskkällorna togs hänsyn till att eventuella dominoeffekter kunde inträffa.

De initierande händelserna ansågs kunna vara såväl interna som externa. Sålunda är kopplingarna till sårbarhetsanalysens omfattning starka. För olycksscenarioerna med transport av farligt gods togs hänsyn till trafikintensiteten längs olika vägsträckor. De riskmått som användes

²³ Den metodik som använts i projektet har även mynnat ut i en *Area Risk Reassembly Module* vilket är ett beslutsstödjande system för utvecklingen i området (och andra liknande regioner).



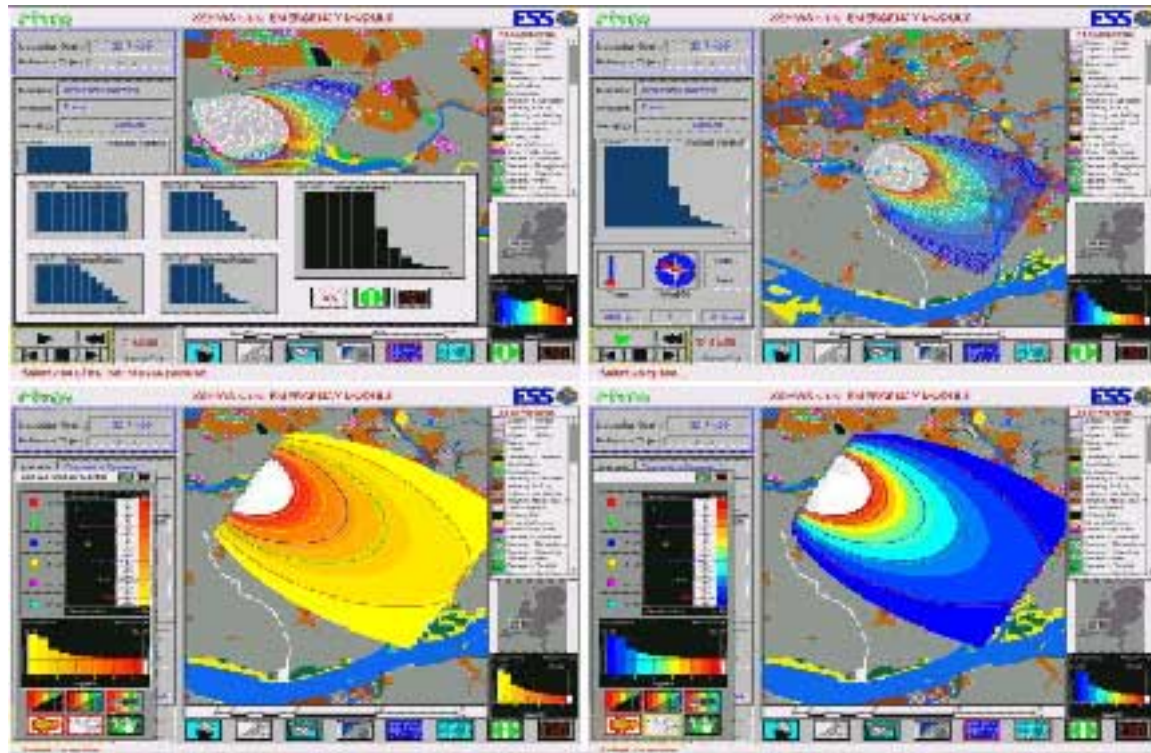
Figur 11.2 Diagram över tillvägagångssättet för att bedöma riskerna i ARIPAR-projektet
Källa: Egidi m fl 1995

(indikatorer för areariskerna) var bl a individuell risk och F/N-kurvor. I figur 11.2 åskådliggörs schematiskt det tillvägagångssätt enligt vilket riskerna i projektet bedömdes.

Databasen med riskkällorna innehåller ett register över deras geografiska position, vilket det farliga ämnet är och statistik om sannolikhet för olyckshändelse (och för alla tänkbara scenarier). För varje riskkälla är det på så sätt möjligt att i sammanställningsmodulen välja en lämplig modell för att värdera risken. Databasen med interpoleringsfunktionen användes för att modellera konsekvenserna. Koncentrationer och spridning kunde sålunda beräknas för diskreta punkter i rummet runt riskkällan. Den demografiska databasen innehöll information som möjliggjorde värderingen av bl a den individuella risken. Den meteorologiska databasen innehöll data för att korrigera utsläppen för väderleksmässiga förhållanden. Alla databasernas information kompilerades i sammanställningsmodulen för att beräkna riskerna i området. En slutsats som kunde dras i projektet vara att risken från transportnätet bidrog stort till den sammanställda risken i de fall det låg tätt intill tätbefolkade områden. Modellens informativa struktur och möjligheterna till uppdatering gör att den kan användas som ett beslutsstödjande verktyg i framtida markanvändningsfrågor vad beträffar risker i regionen.

11.2.5 XENVIS

Flera olika varianter av spridningsmodeller redovisas i bilaga 5. En modell som framträder är emellertid XENVIS. XENVIS är resultatet av ett samarbetsprojekt som påbörjades redan 1986 mellan VROM, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment) och RIVM, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (National Institute of Public Health and the Environment), i Holland och det österrikiska företaget Environmental Software and Services GmbH i syfte att göra interaktiva riskbedömningar av transporter med klor i Holland (Fedra 1997). Det har idag utvecklats till ett interaktivt miljömässigt informations- och beslutsstödsystem (SDSS) som kan tillämpas i en mängd sammanhang med industriella teknologiska risker och hantering av farlig verksamhet och skadliga ämnen. XENVIS är en avancerad spridningsmodell



Figur 11.3 XENVIS är ett exempel på en avancerad spridningsmodell i GIS-miljö. XENVIS har kapacitet att beräkna risker som kan uppstå till följd av en olycksartad händelse eller risker vid normal drift. Programmet tar hänsyn till externa faktorer för att beräkna spridningsförlopp och exponering.
Källa: <http://www.ess.co.at> 1999-08-16

som integrerar geografisk information på olika rumsliga nivåer med flera sammanlänkade databaser (speciellt farliga ämnen och industriella anläggningar) med en hypertextstruktur.

Databaserna är i sin tur sammankopplade till simuleringsmodeller som behandlar föroreningar till luft och vatten och transportnätverk (med speciella modeller för varje medium). Simuleringsmodellerna kan arbeta med såväl kontinuerliga som olycksartade utsläpp. XENVIS beräknar avstånd och antal hus inom olika risknivåer och hänsyn kan även tas till beräknade riskkurvor, befolkningsdensitet. Modellen är baserad på riskobjekt vars attribut uppdateras efter behov. Riskobjekten är länkade till geografiska objekt i GIS såsom polygoner. Resultatet visas i form av interaktiv grafik och animerade kartor (scenarier) vilket möjliggör en effektiv och interaktiv analys (Fedra 1998 och Environmental Software and Services GmbH, <http://www.ess.co> 1999-08-16).

11.2.6 Produktsyn istället för produktionssyn

Ett sätt att bredda synen på risker från olika industriella anläggningar är att se till produkternas totala effekter under dess livscykel. Life Cycle Assessment, LCA, är en beslutsstödjande metod där man försöker bedöma en produkts eller tjänsts inverkan på miljön från produktion och användning, till hur den hanteras som avfall (Bengtsson m fl 1996). Några försök har gjorts att koppla ett sådant integrativt regionalt angreppssätt till riskhantering.

Assies (1996) försöker att utifrån ett riskbaserat LCA-angreppssätt, *Life Cycle Risk Assessment*, besvara tre frågor: Är det troligt att produktsystemet bidrar till någon skada? I så fall, vilken är den totala påverkan på det utsatta elementet? Och i vilken grad bidrar produktsys-

temet till den totala påverkan? Resultatet av frågorna används som underlag för att visa miljömässig påverkan för olika effektkategorier (klimatförändringar, ozonuttnuning etc). En sortering görs för att skilja mellan de aktiviteter som bidrar till skada och de som inte gör det.

Bengtsson m fl (1998) anser sig kunna identifiera tre subsystem i en LCA-process; ett tekniskt, ett miljömässigt och ett socialt, alla med en geografisk referens (jmf fig 2.5). De olika systemen interagerar ständigt i produktens livscykel. Ett problem för de flesta LCA-modeller är att de tenderar att aggregera stora datamängder på ett sådan sätt att informationen om var de olika aktiviteterna äger rum försvinner. Detta är en stor brist när en bedömning skall göras av vilka effekter som orsakas i de olika stegen. För att råda bot på problemet föreslås att ett modelleringspråk och en relationell databas, SPINE som håller reda på de tre systemens geografiska referens används. Tillsammans med rätt GIS-mjukvara ökar möjligheterna att göra avancerade och korrekta bedömningar. Även Potting (1996) uppmärksammar problemet med att de flesta LCA-modeller inte tar någon hänsyn till var själva utsläppen sker och vill därför introducera s k anläggningsfaktorer för försurande utsläpp. Anläggningar kan på grund av sin geografiska position länkas till en försurningsfaktor som relaterar utsläppen till anläggningens depositionsområde. Hittills har försurningsfaktorer etablerats för 44 sådana regioner i Europa.

11.2.7 Strategiska helhetsmässiga metoder

Strategic Risk Assessment, SRA (Llewellyn 1998), är ett försök att integrera alla aspekter som kan karakteriseras som intressanta vid en riskbedömning för att kunna prioritera åtgärder.

Metodiken strävar efter att bredda beslutsprocedurer som innefattar riskhänsyn och ekonomiska värderingar och som resulterar i miljömässiga konsekvenser. SRA-metodiken är uppbyggd på fyra steg och utgör en enkel och transparent handledning. Nedan redogörs för de olika stegen:

1. I det första steget, *skadebedömning* (jämför riskbedömning figur 3.1), bestäms inverkan av en given exponeringsnivå på en specifik receptorgrupp och normaliseras mot ett riktvärde (gränsvärde). Mer konkret:
 - Kvantifieras riskkällorna.
 - Kvantifieras exponeringen från källorna.
 - Uppställs bedömningskriterier.
 - Bedöms skadan i förhållande till bedömningskriterierna.
2. I steg två, *risksignifikans*, gäller det att relatera den inverkan som identifierades i steg 1 och sätta in denna i en tidsrumslig kontext. Hänsyn tas till:
 - Den rumsliga omfattningen av den förväntade skadan.
 - Den tid över vilken skadan kan förväntas.
 - Den tid över vilken den exponerade befolkningen kan återhämta sig på ett naturligt sätt.
 - Vilka andra utsatta subjekt/objekt som kan beröras.
3. I det tredje steget, *riskosäkerhet*, kvantifieras sannolikheten för att händelsen skall inträffa, men också den osäkerhet som genomsyrar bedömningarna. Genom att försöka reducera osäkerheten till en "tolerabel nivå" eftersträvas att göra bedömningen trovärdigare. I bedömning av osäkerhet ingår att ta hänsyn till:
 - Sannolikheten att riskkällan skall leda till den förväntade skadan.

- Den inneboende variabiliteten i miljön.
 - Bristen på kunskap av den miljömässiga inverkan som vissa riskkällor utgör.
 - Inadekvata data och/eller information beträffande riskscenariot i fråga.
4. I *sista* steget görs en totalbedömning m h a en riskekvation i vilken värden från tidigare steg infogas och viktas. Ekvationens värde representerar risken ur ett brett perspektiv där perception, kostnader för samhälle och miljö och politiska och vetenskapliga uppfattningar ingår. Värdet utgör sedan grunden för en riskprioritering då den jämförs med en intervallskala som beskriver riskens betydelse. Hänsyn tas till:
- Kostnaderna för industrin eller samhället för att förhindra riskerna för miljömässiga skador.
 - De miljömässiga kostnaderna för att tillåta att skada får ske.
 - Allmänhetens uppfattning om risker, inverkan och kostnader.
 - Den politiska risksynen, inverkan och kostnader.
 - Den vetenskapliga synen på risker och påverkan.

Llewellyns slutliga bedömning av risken är i form av en prioriteringspoäng som grundar sig på de fyra stegen och kan uttryckas i en formel:

$$\text{Riskprioritering} = (a * \text{skada}) * (b * \text{risksignifikans}) * (c * \text{osäkerhet}) * (d * \text{riskens vikt})$$

a, b, c och d är vikter som bestäms av användaren. Riskprioriteringspoängen jämförs med en skala som på ett enkelt sätt visar vilken prioritet risken har för att åtgärdas. Modellen håller för närvarande på att utvärderas i England.

11.3 Metoder för att integrera flera olika aktörers åsikter

I föreliggande rapport har ett antal praktiska ansatser där man strävar efter att integrera flera aktörer i en beslutsprocess undersökts. Det är möjligt att urskilja två huvudgrenar. Å ena sidan finns det metoder som m h a diskussionstekniker försöker nå konsensus bland flera intressenter för ett beslut som kan påverka riskbilden i rummet. Å andra sidan har det utvecklats flera verktyg där GIS, multikriteriemetoder och rumsligt beslutsstödjande system integrerats och gjorts åtkomliga för allmänheten genom datornätverk som Internet. Vi börjar nedan med att se närmare på de teknikbaserade systemen för att därefter undersöka de metoder som bygger på diskussionstekniker.

11.3.1 GIS, MCA och SDSS i nätverk, några exempel på fungerande riskverktyg

I ett samarbete mellan *The Joint Research Centre, JRC*, ISpra Italien och *Leeds University* (Carver 1999) har en metod utvecklats för att kommunicera frågorna kring fysisk planering med allmänheten genom att göra tillgängligt ett GIS/MCDM-system via Internet. Systemet i sig självt hämtar information från nätet vilket innebär ett stort, och ständigt ökande antal, inputmöjligheter av georefererad information (t ex befolkningsdensitet, skyddsavstånd etc). Resultatet är kartor över regionen där flera kriterier använts som underlag för att beräkna lämpliga avstånd mellan olika verksamheter. Användaren kan med utgångspunkt i dessa kartor och systemet identifiera de mest lämpliga områdena för en viss verksamhet.

En annan produkt från JRC är en multikriteriametod, *Novell Approach to Imprecise Assessment and Decision Environment, NAIADE*, med syfte att analysera och utvärdera konflikter

och möjliga koalitioner mellan olika intressegrupper. I det inlärningsprogram som är tillgängligt kan användaren testa metoden i en fallstudie. Möjlighet ges även för användaren att, för varje alternativt scenario, variera värdena för kriterierna, specificera preferenserna för olika intressegrupper och analysera de möjliga utfallen.

Open Spatial Decision Making (OSDM), är en GIS/MCA-baserad hemsida utvecklad vid University of Leeds där man fokuserar på frågan var kärnavfall i Storbritannien skall slutförvaras (University of Leeds, Centre for Computational Geography, <http://www.ccg.leeds.ac.uk/mce/mce-intro.htm> 2000-03-01). Syftet är bl a att hjälpa användaren att identifiera de problem som kan vara behäftade med ett visst geografiskt område och på så sätt utpeka lämpliga och olämpliga platser.

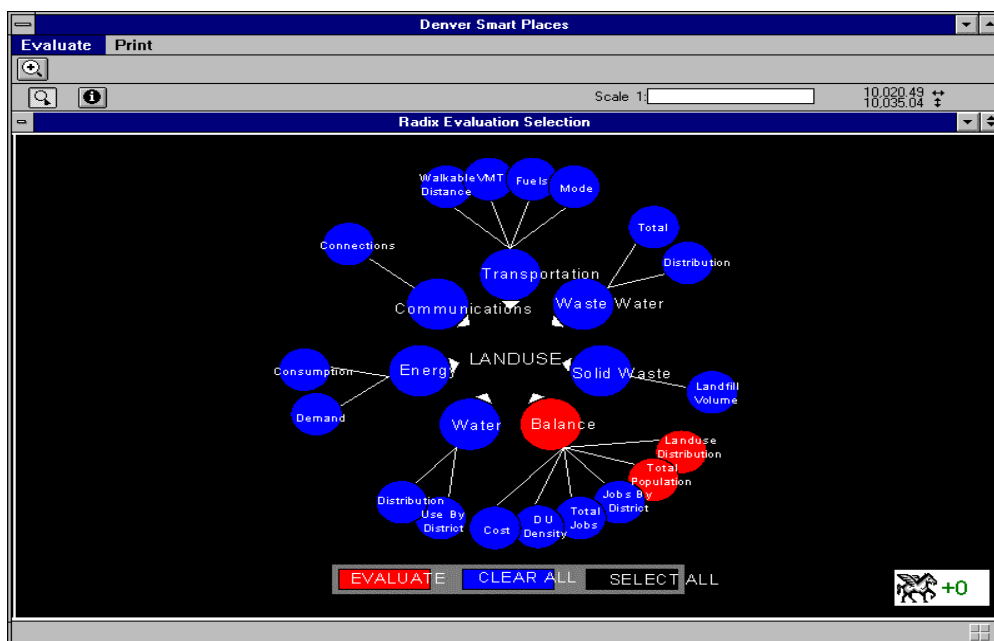
Center for International Earth Science Information Network, CIESIN, har utvecklat programmet AR/GIS vilket är ett system för att kollaborativt modellera resurser. AR/GIS möjliggör för icke-tekniska användare att interaktivt skissera upp olika scenarier för markanvändning och därefter utvärdera dem i förhållande till regionala målsättningar och begränsningar. AR/GIS finns i olika varianter och kan modifieras för att behandla den uppsättning data som beslutsfattarna är intresserade av i den särskilda situationen. Tillverkarna framhåller att system som AR/GIS inte helt bör ersätta muntliga debatter utan vara ett komplement till dessa.

AR/GIS – Smart Places är ett stöd i den fysiska planeringen för att jämföra risker och inverkan av olika scenarier till följd av åtgärder i den fysiska miljön. Programmet har kapacitet att skissera scenarier, jämföra flera sådana scenarion och summera konsekvenserna (Colorado State University, <http://www.ciesin.colostate.edu/argis/> 1999-10-14). Genom zoomningsfunktioner är det möjligt att via pek-och-klicka-metoden få reda på mer om objekt (attributen) på olika rumsliga nivåer. Användaren kan modifiera och förändra förutsättningarna för att se hur scenarierna påverkas (t ex ändra ett områdes attribut från industri till boende). Användaren blir automatiskt underrättad om de ändringar han gör inte stämmer överens med förutsättningarna och begränsningarna i rummet, t ex att placera bostäder i ett industriområde med riskfylld verksamhet. När ett scenario har konstruerats kan det utvärderas omedelbart med hjälp av *Radix Evaluation Selection window* vilket är ett interaktivt verktyg som väljer adekvata modeller för att utvärdera markanvändningen. Modellerna kan väljas och bytas ut mot andra efter behov. Resultatet av scenariot kan presenteras som text, figurer och tabeller.

AR/GIS Collaborative Negotiation System bygger på *Smart Places* och är utformat för att stödja gruppbeslut om resursanvändningen i den fysiska planeringen med avseende på risker och konsekvenser. Detta sker genom en interaktiv debatt där användarna får tillgång till varsin dator. Datorerna är i sin tur sammankopplade i ett nätverk där systemet registrerar varje användares åsikt. Deltagarna kan individuellt eller tillsammans utforma förslag om rumsliga strategier som därefter kan väljas (röstning) eller kombineras. När ett beslutsproblem formulerats utses gemensamt värderingskriterier. Utifrån dessa evalueras de olika lösningarna. De olika deltagarna bestämmer var och en de vikter de anser skäliga för de olika kriterierna. Proceduren garanterar anonymitet och systemet gör en sammanställning av de olika rösterna. De medverkande utformar sina lösningar på ett problem i form av scenarier genom att skissera direkt på bildskärmen. Systemet utvärderar därefter omedelbart hur väl scenarierna är anpassade till beslutskriterierna.

Integrated Planning Decision Support System, IPDSS, är ett beslutsstödjande verktyg sammanbyggt med GIS för att hjälpa till med att bedöma sårbarheten i ett samhälle och där målet är att försöka reducera riskerna (Colorado State University,

<http://www.ids.colostate.edu/projects/ipdss.html> 2000-02-18). Avsikten är att åstadkomma en zonkarta för att användas inom den fysiska planeringen. Sårbarhetsanalysen omfattar känslighet hos ekosystem, ekonomisk sårbarhet och sårbarheten i samhällets infrastruktur. Användaren kan, liksom i fallen ovan, själv modifiera och välja kriterier för bedömningen samt hur de skall viktas. Huvudkomponenterna består i Data Management Subsystem (DMS), Model Management Subsystem (MMS) och ett Graphical User Interface (GUI). DMS kontrolleras av ett GIS och har till uppgift att samla in och bearbeta data och åskådliggöra data på en karta. MMS analyserar data m h a numerisk modellering och har till uppgift att optimera resultatet. Det grafiska gränssnittet (GUI) är lätthanterligt och skall interagera med användaren och leda denne genom processen.



Figur 11.4 Bild ur programmet AR/GIS-smart places som visar de modeller som kan användas för en uppgift. Programmet är flexibelt och låter användaren välja de modeller som han finner tillrädligt för att fatta ett beslut i en specifik situation.

Källa: Colorado State University <http://www.ids.colostate.edu> (2000-02-18)

11.3.2 Diskussionsbaserade tekniker för att integrera flera aktörer i besluten

I det här avsnittet visas på några försök som har gjorts för att integrera aktörernas olika intressen i risklandskapet utan tekniska hjälpmedel såsom GIS i kombination med MCDM och SDSS.

Flera författare rekommenderar diskussionsforum som ett sätt att ta tillvara olika åsikter. Skillnaden mot att t ex skicka ut enkäter är att deltagarna på ett möte lär sig av varandra att se saker ur flera perspektiv. Renn (1998) föreslår en modell, *Cooperative discourse*, för medborgardeltagande vilket kan sammanfattas i tre steg:

1. Identifiera och välj intressen och värderingskriterier. Alla som har ett intresse i en aktuell fråga skall intervjuas om vilka värderingar och kriterier som har betydelse för deras bedömningar av olika val.
2. Mät påverkan och konsekvenser relaterade till olika valmöjligheter. Målet är att sammanjämka konflikter och nå en förståelse genom direkt konfrontation mellan olika fraktioner.

3. Utför en diskurs med slumpmässigt valda medborgare som jurymedlemmar och representation av intressegrupper som vittnen.

Renn menar att såväl experter som allmänheten i en sådan process bör uppmanas att påverka beslutsprocessen med den kunskap de bär på. Renn har funnit att denna metod är mycket framgångsrik för att lösa konflikter och uppnå konsensus för lösningar.

En liknande metod, *konfliktanalysen*, förespråkas i en rapport från SRV av Persson (1998). Konfliktanalysen är en metod som strävar efter att i planarbetet belysa och bearbeta de olikheter som existerar beträffande åsikter och värderingar av t ex risker. Analysen bör inledas i ett tidigt skede och redovisa känsliga områden och verksamheter, identifiera intressenter och aktörer samt redovisa ståndpunkter/intentioner. Arbetet kan fördjupas och konkretiseras då planarbetet går från översiktsstadium till detaljplanering. Intressenterna bör komma till tals med varandra flera gånger under planarbetets gång vilket är speciellt angeläget om syftet t ex är att upprätta en miljökonsekvensbeskrivning.

Konfliktanalysens fördelar är att den erbjuder en struktur för arbetet vilket innebär att idéer och synpunkter inte riskerar att gå förlorade. Analysen ställer viktiga frågor som kan sammanfattas i tre punkter:

1. Vad är problemet? Varför är det ett problem?
2. Vems är problemet? Identifiering av aktörer och intressenter.
3. När, var, hur och med vilka metoder kan konflikten lösas?

En annan beslutsstödjande metod som påminner om konfliktanalysen och som strävar efter att lösa komplexa problem är *Decision conferencing* (Gheorghe 1995). Här handlar det om att samla alla med anknytning till ett problem i en given region till ett möte i syfte att genom diskussioner försöka komma fram till en gemensam strategi för att hantera riskerna i regionen. En beslutsanalytiker och en moderator stödjer processen. Moderatoren har goda kunskaper om grupparbete och försöker leda diskussionen framåt medan analytikern med utgångspunkt i diskussionen bygger beslutsstödjande modeller m h a informationsteknologi. Poängen med konferensen är att få alla berörda att engagera sig och verka för en gemensam strategi som integrerar subjektiva och objektiva synpunkter som alla slutligen stödjer.

12 Internationella utvecklingsläget för IRRASM

12.1 Exempel på miljöer där integrativ regional riskhantering initierats och tillämpas

Att döma av de källor som undersökts i rapporten är forskningen kring ett integrativt, regionalt angreppssätt koncentrerad till några miljöer. Universitet, konsultföretag, och myndigheter är oftast drivkrafterna bakom utvecklingen av nya metoder och tekniker. Det är också tydligt att tanken på en integrativ rumslig metodik för att hantera risker har fått en spridning som omfattar de flesta industrialiserade nationer. En drivkraft i dessa länder är inte sällan civilförsvaret. Nedan görs en kort översikt över några länder där ett IRRASM-angreppssätt tillämpas på ett mer omfattande sätt.

I Holland är mycket av samhällsplaneringen riskbaserad (Pruppers m fl 1998). Den lilla ytan och den stora befolkningen utsätter den ekologiska miljön för svåra prövningar innebär också att olyckor lätt får stora konsekvenser för såväl säkerhet som miljö. Att bedöma och hantera risker, bl a operativt, är därför ett prioriterat kunskapsområde. Lagstiftningen i landet har utvecklats i en riktning som ger medborgarna viss insyn då nya riskfyllda verksamheter skall etableras. Invånarna har bl a möjligheten att lägga in protester mot en planerad verksamhet. Myndigheterna lägger stor vikt vid extern säkerhet vilket resulterat i att en kvantitativ riskanalys alltid också måste genomföras (Einarsson 1999). Det är bl a lag på att riskkonturkurvor plottas runt en riskkälla så att det är möjligt att enkelt identifiera oacceptabla risker (CPQRA 1989). Ett forskningsarbete har påbörjats med syfte att vinna fördjupade insikter inom tre huvudområden (IAEA 1998):

- Metoder för kvantifiering av risker.
- Attityden hos människor som berörs av potentiellt farliga aktiviteter.
- Handläggningen av dessa faktorer i beslutsprocessen.

Värt att nämna är även det arbete som det nationella institutet för allmän hälsa, RIVM, utför. Man initierar ständigt nya projekt som har systematiska angreppssätt och intresserar sig för ett område som har en spännvidd från socioekonomiska och politiska faktorer till rent tekniska och miljömässiga. Bl a undersöks riskerna som härstammar från olika orsaks- och effektkedjor. Tillsammans med ministeriet för boende, fysisk planering och miljö, VROM, är ambitionen att fortgående implementera nya metoder för att hantera risker (RIVM, <http://www.rivm.nl/csr/risk.html> 1999-10-13).

Schweiz ligger långt framme vad beträffar forskningen kring risker ur ett regionalt perspektiv. Befolkningens misstro mot säkerhetsaspekterna i nya projekt blev med tiden så stor att en bred risksyn mer eller mindre tvingats fram (Nicolet-Monnier 1996). Cantonerna har numera ålagts uppgiften att, m h a ett GIS och hypertextbaserat system, sammanställa information om risker i landskapet enligt ett IRRASM-angreppssätt. En federal kommitté har upprättats för att koordinera de olika cantonernas förberedelser för katastrofer, etablera grunderna för ett europeiskt samarbete, utbyta teknisk information, koordinera forskningsprojekt, definiera regler och harmoniera räddningsinsatser med andra länder.

Schweiz var också en drivande kraft bakom samarbetsprojektet *Polyproject on Risk and Safety of Technical Systems*. Projektet var multinationellt och förankrat i flera forskningsmiljöer från främst Schweiz men också Holland och Tyskland. Huvudmålet med projektet var, som tidigare redogjorts för, att utveckla tvärdisciplinära praktiska metoder för att hantera risker

från ett större antal teknologiska system. Andra målsättningar var bl a att etablera kunskaper och samarbete om olika typer av risker och utveckla internationella kontakter. En fallstudie, ”Limmattal”, genomfördes också för att testa utvecklade applikationer för riskminimering.

I Österrike utvecklar och implementerar forskningsföretaget Environmental Software and Services GmbH kontinuerligt integrerade miljöinriktade GIS-system och modellbaserade beslutsstödjande system (Environmental Software and Services GmbH, <http://www.ess.co.at> 1999-08-16). Företaget har utvecklat program som: XENVIS, GRIBS och HITERM (se 11.2.5 ovan och bilaga 5)

Bruket av sårbarhetsanalyser kan bla observeras i Norge, Sverige, Island och USA. I USA har man kanske främst uppmärksammat sårbarheten i samhället vad avser sabotage och företagens överlevnadsförmåga (Fema, <http://www.fema.gov> 2000-01-15). I Norge pågick det tvärvetenskapliga sk ROS-programmet (Risiko- og sårbarhetsforskning) i regi av Norges forskningsråd i flera år innan det avslutades 1997 (Norges forskningsråd, <http://www.forskningsradet.no/bibliotek/forskning/199704/1997041001.html> 2000-02-22). Avsikten var att med hjälp av tvärvetenskapligt sammansatta grupper utveckla metoder för att genomföra risk- och sårbarhetsanalys av hälsa, miljö och säkerhet på ett effektivt sätt. Målet var att skapa en gemensam plattform för säkerhetsarbete i vid bemärkelse. Programmet resulterade i att generella verktyg, handböcker och checklistor för bedömning av risker mot hälsa, miljö och säkerhet inom en mängd verksamheter och situationer (industri, kommuner etc) utvecklades. Direktoratet för sivilt beredskap, DSB, strävar efter att alla kommuner i Norge utför risk- och sårbarhetsanalyser innan 1999 års utgång (DSB, http://www.dsb.no/nivaa_tre_english/vulnerability_analyses_and-super.htm 2000-02-22).

Försäkrings- och klassificeringsföretaget *Det Norske Veritas*, DNV, som arbetar mycket med certifierings- och säkerhetsfrågor bör också nämnas i sammanhanget. Man har deltagit i ROS-projektet och även arbetat med att systematisera skadeförebyggande åtgärder i olika industriverksamheter (DNV 1995) samt utvecklat mjukvara för riskanalyser. DNV ägnar också en hel del resurser åt miljöbedömning och har bl a utvecklat spridningsmodeller som försöker ta hänsyn till en mängd faktorer som är avgörande för spridningsmönstret och inverkan på eventuella receptorer (DNV, <http://www.dnv.com> 2000-02-12).

Inom EU pågår ett arbete för att begränsa allvarliga olycksrisker med explosiva och giftiga ämnen. EUs ministerråd har antagit det så kallade Seveso II-direktivet i vilket artikel 12 handlar om att begränsa olyckor genom den fysiska planeringen (Boverket, <http://www.boverket.se/plan/nyb.htm> 2000-02-27). Viktigt här anses att anlägga ett långt tidsperspektiv och att ta hänsyn till alla väsentliga kriterier så att en olycka inte ökar riskerna för hälsa och känsliga naturområden.

I det här avsnittet har olika IRRASM-ansatser mycket kort utvecklats i ett internationellt perspektiv. I avsnittet nedan åskådliggörs förhållandena i Sverige med hänsyn till ett robust samhälle. Översikten omfattar vad som har gjorts de senaste åren eller vad som pågår för närvarande.

13 Översikt över analysläget för IRRASM i Sverige med inriktning på det robusta samhället

13.1 Miljöer och projekt

I avsnitt 12 gjordes en kort exposé över olika regionala och integrativa ansatser beträffande riskhantering i ett internationellt perspektiv. I det här avsnittet smalnar synvinkeln något och en översikt görs över analysläget i Sverige ur ett robusthetsperspektiv. På senare år har ett allt större antal projekt, som (i någon grad) kan hänföras till ett IRRASM-perspektiv initierats. Det är viktigt att återigen poängtera att ambitionen inte är att presentera alla dessa projekt eller allt vad som sker på olika platser. För detta skulle en mer grundlig inventering behöva göras. Syftet här är endast att se närmare på vad som händer inom några miljöer som är mer eller mindre tongivande för riskforskningen i Sverige. Vilka integrativa och/eller regionala ansatser kan spåras här som har anknytning till det robusta samhället och hur djupa är de?

13.1.1 Överstyrelsen för Civil Beredskap

ÖCB har under en längre tid studerat hur svåra påfrestningar påverkar samhället i fredstid, ofta i samarbetsprojekt med andra myndigheter eller högskolor och universitet. I fokus för intresset står situationer som karaktäriseras av att de avviker från det som betraktas som normalt, uppstår hastigt, mer eller mindre oväntat, hotar grundläggande värden och kräver snabba beslut och koordinerad och koncentrerad insats av flera instanser (ÖCB, <http://www.ocb.se> 2000-02-09).

Arbetet *Beredskapshänsyn i planering och samhällsutveckling*, BIS, har pågått under flera år och har till syfte att göra samhället mer robust och mindre känsligt för situationer som avviker från det normala tillståndet. I detta arbete är det viktigt att tänka på risker och hot i ett tidigt skede av ett projekt och genomföra väl genomtänkta riskanalyser. Nyckelord man valt att ta hänsyn till är lokalisering, utformning, utrustning och organisation .

Tillsammans med Byggnadsforskningsrådet, BFR, initierades 1993 projektet den oslagbara staden (ÖCB, <http://www.ocb.se> 2000-02-27). Projektet syftar till att förmå de som bygger, förvaltar och forskar inom byggnadsområdet att bli mer medvetna om beredskapshänsyn. Projektet stöds en expertgrupp i vilken ingår folk från Boverket, BFR, Räddningsverket, NUTEK, FOA, Naturvårdsverket och andra företrädare för branschen. Flera skrifter rörande robusthet i närmiljön har producerats (Berglund (red) 1994, 1995, 1997 och 1998). I dessa försöker man definiera och utveckla tankarna kring begreppet robusthet, främst med avseende på grannskap, samt hur man kan göra för att minska sårbarheten (se bl a avsnitt 2.4). I ett projekt tillsammans med HSB bedrivs ett konkret försök att göra bostadsområdet Lindeborg i Malmö till en mer socialt välutvecklad och robust livsmiljö. Projektet har rönt stor uppmärksamhet.

ÖCB har på sin hemsida (<http://www.ocb.se>) listat alla projekt som man initierat och vem man samarbetar med. En del av dessa redovisas även nedan.

13.1.2 Försvarets forskningsanstalt

Forskningen inom Försvarets forskningsanstalt, FOA, har flera beröringspunkter med IR-RASM. Tidigare har redogjorts för framställningen av indikatorer för att mäta robusthet i bostadsområden och grannskap (se avsnitt 5.1.3). FOA bedriver också forskning tillsammans med olika högskolor (se t ex avsnitt 13.1.3) och ÖCB.

I ett projekt som genomförts tillsammans med Räddningstjänsten i Umeå kommun, *GIS-applicerad miljökänslighetskarta över Umeå kommun* har man med hjälp av ett GIS framställt en karta över miljökänsliga områden i en kommun med avseende på risken för en olycka med transport av farligt gods (FOA, <http://www.foa.se> 2000-02-09). Områdena har valts ut för sin naturgeografiska och biologiska karaktär och en samlad bedömning har därefter gjorts. Kartan kan emellertid uppdateras med flera andra skyddsvärden.

I ett annat projekt, *Mellanlager för farligt avfall – kartläggning och riskbedömning*, har man tillsammans med Räddningsverket studerat risken för allvarliga olyckor i mellanlager för farligt avfall (FOA, <http://www.foa.se> 2000-02-09). Förutom att kartlägga riskerna för människor och miljö har avsikten varit att försöka bedöma problemets omfattning. Ett resultat av studien är att man anser det värt att vidare fördjupa sig i hur olika aktörer samspelar kring säkerhet för farligt avfall i denna typ av lager.

FOA är också den sammanhållande kraften i *RISKNET*, ett nätverk på forskarnivå som etablerats för att tillgodose behovet av samordning vad beträffar forskning om nya hot och risker i samhället. På sin hemsida (FOA, <http://www.risknet.foa.se/about1.htm> 2000-02-09) har man listat pågående forskningsprojekt i Sverige som utförs av aktörer inom olika områden. Mer bestämt handlar det om risker från och mot försörjningssystem, riskerna från olycksrelaterade utsläpp, översvämningar, terrorism och smittorisker.

13.1.3 Svenska kommunförbundet

Svenska kommunförbundet är engagerad i ett utvecklingsarbete för att stödja hantering av säkerhets- och skyddsfrågor i kommunerna (Svenska kommunförbundet, <http://www.svekom.se/skydd/saktrygg.htm> 2000-05-02). Området delas in i tre delar; internt skydd, skydd mot olyckor och civilt försvar.

Internt skydd avser säkerheten för kommunens egendom och verksamhet, exempelvis brand, inbrott och skadegörelse, vattenskador, överfall och olycksrisker, datasäkerhet, sekretess- och säkerhetsskyddsfrågor.

Skydd mot olyckor inbegriper olyckor vid transporter av farligt gods, rasolyckor, farliga utsläpp, avbrott i el- och vattenförsörjning eller andra svåra påfrestningar. Från Kommunförbundets sida hävdar man att kommunens ledning- och informationsberedskap såväl som den kommunala räddningstjänsten har en mycket stor betydelse i dessa sammanhang.

Civilt försvar omfattar kommunernas roll i totalförsvaret och inbegriper beredskapsförberedelser inom de flesta samhällsområden. Civilt försvar kan sägas vara en förlängning av de två föregående delarna.

13.1.4 Tekniska högskolor och Universitet

Vid KTH, Center for Safety Research (tillsammans med FOA, Tyréns), undersöks sårbarheten i den tekniska infrastrukturen på en konceptuell nivå. Syftet är att studera den tekniska infrastrukturens funktionsförmåga och sårbarhet i förhållande till aktuella och framtida, externa hot. Vidare studeras närmare systemsamverkan, organisationsformer, teknikutveckling m m. Man begränsar sig till att endast behandla försörjning av el, värme, vatten, avlopp och informationsteknik med anknytning härtill. Genom att utföra fallstudier förväntar man sig kunna påvisa behov av var det är angeläget att genomföra regionala och lokala insatser.

Vid KTH utförs också ett närbesläktat projekt vars syfte är att studera sårbarhet i olika avseenden i det svenska vägtransportssystemet. Ett åtagande i detta projekt är att utveckla mått för att karakterisera sårbarhet och att utveckla en metodik som reducerar de problem som finns här. Ambitionen är också att utveckla metoder för att värdera nyttan av olika åtgärder som existerar för att minska sårbarheten. Faktorer som undersöks i samband härmed berör värdering av tid och osäkerhet kring rese- och transportkostnader.

På Sociologiska institutionen, Uppsala universitet, utförs ett projekt om risk och hållbarhet i stads- och bostadsmiljö. I ett projekt om sjuka hus berörs förhållandet mellan teknisk forskning å ena sidan och samhällsvetenskaplig å den andra (Uppsala universitet, Sociologiska institutionen, <http://mail.soc.uu.se/research/presentation.html> 2000-03-02).

Vid Institutionen för kulturgeografi och ekonomisk geografi i Lund genomförs ett projekt där man analyserar hushållens möjligheter att leva i ett sårbart samhälle. Ett mål är att utforma ett GIS-baserat rollspel i vilket det är möjligt att spela upp olika risker som realiserar och i vilket olika aktörer skall kunna delta. Syftet är att få bättre kunskap om främst hushållens agerande i skilda geografiska miljöer (Lunds universitet, Institutionen för kulturgeografi och ekonomisk geografi, <http://www1.luc.lu.se/kulekgeo/forska/projekt/sarbara.htm> 2000-03-14).

Vid Umeå universitet bedrivs forskning i ett delprojekt om det föreliggande hot- och riskperspektiven i Barentsregionen. Regionen, som är tillhörande Finland, Norge, Sverige och Ryssland, är intressant ur riskforskningsynpunkt på flera sätt. Den multinationella sammansättningen är en faktor som ger upphov flera motstridiga anspråk. Atomsoporna i Ryssland är orsaken till en sådan konflikt, militärstrategiska syften och operationer en annan. Samtidigt har man en utflyttningstrend inom den skandinaviska delen samt ett inflytande från EU som främjar regionala lösningar. En fråga man ställer sig i projektet är hur utvecklingen i Barentsregionen påverkar målsättningen med ett robust och hållbart samhälle (Umeå universitet, <http://info.adm.umu.se/safari> 2000-03-02).

Ett ytterligare exempel utgörs bl a av den forskning som sker på Försvarshögskolan. Här studerar man hur olika psykologiska faktorer påverkar beslutsfattare och hur andra aktörer i totalförsvaret uppfattar hot och risker (Försvarshögskolan, <http://130.244.126.171/fhs/forsk/index.html> 2000-03-02).

13.1.5 Naturvårdsverket

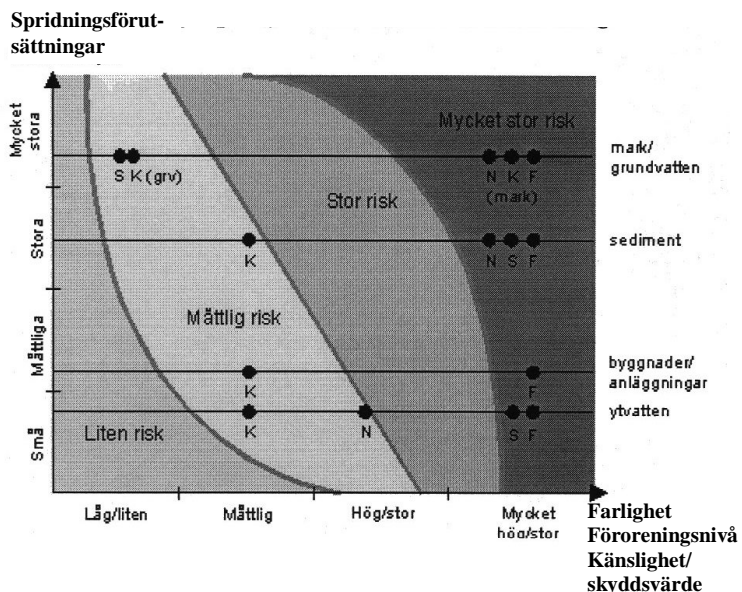
På senare tid har förorenade mark- och grundvattenområden givits allt större uppmärksamhet i samband med hälso- och miljöfrågor. Ett antal forskningsprojekt har startats för att inventera och analysera sådana områden som kännetecknas av en komplex riskbild, bl a som en följd av det stora antalet föroreningar. Naturvårdsverket har utvecklat en metod för att klassificera risken för hälso- och/eller miljöskador kring förorenade områden (avfallsupplag, markområden, grundvatten eller sediment)

(Naturvårdsverket,

<http://www.environ.se/dokument/lagar/bedgrund/foromr/foromr.html> 1999-01-13). Naturvårdsverket

menar att risken för hälso- och

miljöskador kring ett förorenat område är beroende av flera faktorer såsom föroreningarnas farlighet, föroreningsnivåerna, spridningsförutsättningarna, områdets känslighet samt skyddsvärdet. Klassningen av risken från ett miljöfarligt ämne görs genom en sammanvägning av dessa faktorer, således ett exempel på en multikriteriemetod för riskbedömning (se avsnitt 8). Ett diagram (se figur 13.1) används för att göra proceduren överskådlig.



Figur 13.1 Diagram för att klassificera riskerna från skadliga ämnen i förorenade marker.

Källa: <http://www.miljo.malmo.se/mark.htm> 1999-12-15

I diagrammet görs markeringar med avseende på de för området förekommande skadliga ämnen. Spridningsförutsättningarna för de olika "medierna" betecknas med horisontella linjer. Områdets riskklass avgörs av var majoriteten av punkterna hamnar. Bedömningen av farlighet, föroreningskänslighet etc grundas bl a på Kemikalieinspektionens föreskrifter.

Metodiken har bl a använts vid en undersökning av äldre industri- och verksamhetsområden i Malmö.

13.1.6 Räddningsverket

Inom Räddningsverket pågår flera projekt för att studera effekten av olyckor i ett samhällsperspektiv vilket kräver ett integrativt och rumsligt angreppssätt. Arbetet sker på nationell-, kommunal- och individnivå. Det är främst på kommunal nivå man forskar kring metoder för riskhantering. Forskningen omfattar bl a begrepp och metoder för risker på systemnivå och olika sektorer inom dessa nivåer (Räddningsverket, <http://www.srv.se> 2000-02-09).

För närvarande utvecklar Räddningsverket ett verktyg för riskhantering, RISKERA. Det är tänkt att bli ett lättanvänt beslutsstödande verktyg för kommunal riskhantering med möjlighet att importera och bearbeta statistik från kommunala databaser (jmf avsnitt 13.1.6). Verket skall kunna presentera flera typer av geografisk information som behövs för beslutsfattande inom riskhantering. Sådan information kan bestå i riskobjekt, skyddsobjekt, olycksstatistik,

miljökänsliga områden, riskzoner etc. Verktuget skall också kunna utföra analyser och uppskatta kommunala olycksrisker.

13.1.7 Boverket

Risk- och brandgruppen inom Boverket har till uppgift att producera byggregler, råd etc vars syfte är att förebygga skador som uppstår i samhället till följd av bränder, och som kan relatera till risker för människors liv och hälsa i byggnader och byggnadsverk (Boverket, <http://www.boverket.se/bygg/risbrand.htm> 2000-02-27). Man deltar också aktivt i den nationella samverkansgruppen för skadepreventiva åtgärder, SAMS. SAMS har kommit till på Folkhälsoinstitutets initiativ och eftersträvar att reducera skaderiskerna i samhället genom att olika myndigheter samverkar.

13.1.8 Riskstatistik

En integrativ riskansats kräver tillgång till flera typer av statistik och data sammankopplade i relationsdatabaser. Idag finns mycket riskrelevant statistik sammanställd i olika databaser som ägs av enskilda myndigheter, forskningsinstitutioner och företag. En stor del av denna information är numera också tillgänglig för allmänhet och externa forskare. Ett problem är emellertid att den är utspridd på flera olika innehavare vilket gör insamlingsproceduren tidskrävande. Ett ytterligare problem är att statistiken behandlas på olika sätt vilket gör sammanställningen från flera källor komplicerad.

Problemet med att det tar lång tid att samla in data reduceras i takt med att allt mer av statistiken blir tillgänglig via Internet. Kanske är det en trend som kommer att fortsätta. Ett exempel på tillgänglig statistik via Internet är projektet *Swedefact* vilket är en Internetbaserad informationstjänst som tillhandahålls av Lantmäteriet i samarbete med SCB (1999). *Swedefact* tillhandahåller statistisk information i GIS-miljö. Det blir därmed möjligt att på ett enkelt och snabbt sätt få tag på relevant och uppdaterad information utan att det krävs några specifika GIS-kunskaper. Den statistik som är tillgänglig berör befolkning, boende, utbildning, inkomster, sysselsättning, arbetsställen, fastigheter och energiprofil (bl a uppvärmning).

Davidsson m fl (1999) har för Räddningsverkets räkning gjort en sammanställning över databaser om olyckor och olycksrisker. Man fokuserar på erfarenhetsdatabaser i olika sammanhang. Resultatet är en kartläggning av nationella och internationella händelsedatabaser och tillförlighetsdata och bygger bl a på ett tidigare europeiskt projekt, ESReDA (European Safety and Reliability Data Association) för att sammanställa olycksdatabaser. Erfarenhetsdatabaser kan användas i flera steg i riskhanteringsprocessen. Vanligt är att man ser till tidigare erfarenheter för att identifiera riskkällor och bedöma sannolikheter och konsekvenser. Slutligen ges även rekommendationer för fortsatt arbete. Man efterlyser bl a samordning av olycksrapportering och etablering av en nationell olycksdatabas.

En lösning på problemet med att statistiken är utspridd på flera parter som behandlar statistiken på olika sätt ges i RISKDATA vilket är ett projekt i Lantmäteriets (1999) regi som syftar till att underlätta dataförsörjningen inom den kommunala riskhanteringen och datautbyte på regional nivå. Bakgrunden till projektet är ökade krav på kommunal riskplanering och därmed det utvidgade behov av en helhetsmässig rumslig översikt över riskerna.

Avsikten med projektet RISKDATA är att skapa mekanismer för att beskriva data genom en företeelses hela livscykel utan att man är beroende av ett specifikt informationssystem. Målet

är att komma fram till en lösning på hur en relationsdatabas skall struktureras så att den är kompatibel med andra databaser på lokal och regional nivå. Poängen är att få olika datatyper att fungera tillsammans utan att de ständigt behöver omarbetas. På så sätt är det möjligt att hela tiden få tillgång till uppdaterad information från källan. För att det hela skall fungera upprättas en struktur som är gemensam för alla inblandade parter.

I en databasspecifikation fastställs ambitioner och krav på struktur och kvalitet för framtida datainsamling. Bl a är det viktigt att alla data är i samma format, version och projektion för att inga misstolkningar skall göras. I en kravspecifikation anges vad de olika parterna i projektet vill ha uppgifter om. Denna utgör tillsammans med en verklighetsmodell grunden i modelleringsarbetet. Den slutliga produkten är en specifikation för hur kommuner och andra berörda organisationer skall samla in och lagra information i en datoriserad miljö. Detta innebär att arbete som utförs i den ordinarie verksamheten samtidigt kommer att utgöra ett underlag för riskhantering.

Projektet riskdata har stor relevans för en integrativ regional riskansats där en mängd information måste beaktas och sammanställas. Hittills har det emellertid inte gjorts några försök att modellera den sociala sidan i projektet. Detta är en sida som kan behöva utvecklas för att databasstrukturen på ett optimalt skall kunna vara en komponent i en IRRASM-studie.

Del IV

Avslutning

14 Slutsatser, frågeställningar och angelägna forskningsprojekt

14.1 Diskussion

I rapporten har vi försökt ge en överblick över den rådande situationen och utvecklingsläget vad beträffar integrerad regional riskhantering i allmänhet och IRRASM i synnerhet. Att genomföra riskbedömningar med avseende på hälsa, miljö eller säkerhet i samhället är inget nytt. Sådana undersökningar har förekommit länge men de har varit baserade på objektet och sällan eftersträvat att göra en helhetsmässig bedömning. Att istället utgå från rummet innebär att förutsättningarna för att åstadkomma en mer samlad och uttömmande riskbild förbättras avsevärt.

Orsaken till att en samlad riskbild blivit alltmer angelägen är att samhällets komplexitet ökat och, delvis som en följd av detta, blivit alltmer sårbart för olika inre och yttre störningar. De senaste åren har, i bl a Sverige, tankarna på ett mindre sårbart, och istället mer robust och resilient samhälle, vunnit fotfäste i planprocessen. Detta innebär att en helhetssyn/systemsyn anläggs på samhället och dess funktioner. Ur den synvinkeln ter sig det angreppssätt som IRRASM förespråkar högst angeläget.

Integrated Regional Risk Assessment and Safety Management är ett ramverk med syfte att ge handledning vid regionala riskbedömningar där en samlad bild av risksituationen eftersträvas. För detta ändamål förordas att en mångfald av metoder, modeller och verktyg används för att ge en så komplett framställning som möjligt av riskbilden med avseende på ändamålet med studien/bedömningen. Inte desto mindre formuleras goda konkreta rekommendationer för hur studierna kan genomföras. Framför allt har detta skett i de projekt för en integrativ regional risksyn som föregått IRRASM, d v s *Inter-Agency Programme on the Assessment and management of Health and Environmental Risks from Energy and Other Complex Industrial Systems* och *The polyproject on risk and safety of technical systems*. I dessa två arbeten ges råd för alltifrån organisatoriska aspekter till råd hur det studerade området bör avgränsas. Huvudbudskapet är att det är nödvändigt att inte se för snävt på riskerna. Hur olika metoder och modeller skall användas eller kombineras är en fråga som man måste ta ställning till i den enskilda situationen.

Det kan tyckas vara en begränsning att begreppet IRRASM endast diskuteras i ett sammanhang där riskkällan består i utsläpp av skadliga ämnen från en fast anläggning. Resonemanget torde emellertid gå att tillämpa i ett bredare perspektiv och för andra typer risker i samhället. Ett antal metoder, modeller och verktyg som skulle kunna ingå i en integrativ studie för en region har undersökts i rapporten. Vår utgångspunkt har varit att göra denna ”inventering” med avseende på metoder som fokuserar på sårbarhetsaspekterna i stort i samhället, d v s inte endast utsläpp. De metoder och verktyg vi tror är av stor relevans för en IRRASM-studie under sådana förutsättningar är främst

- *Sårbarhetsanalyser*
- *Beslutsmetoder baserade på multikriteriemetoder* och/eller i kombination med
- *GIS för att åskådliggöra och beräkna risker*

Gemensamt för sårbarhetsanalyserna är att de utvecklar en systemsyn vilket innebär att de inte endast ser till interna faktorer utan också till de externa faktorer som har betydelse för systemets möjligheter att klara av svåra påfrestningar.

Multikriteriebaserade beslutsmetoder kan användas i en mängd sammanhang där det är angeläget att göra avvägningar mellan olika parametrar i ett komplext och mångfacetterat problem. Multikriteriemetoder har en lång historia inom fysisk planering men det är först i och med den allmänna utbredningen av, och integrationen med, datorer som kan utföra snabba beräkningar och åskådliggöra risksituationer på skärmen (GIS) som de har blivit praktiskt användbara för vardagliga problem och för att integrera allmänhetens åsikter i samhällets planeringsverksamhet, särskilt i samband med att beslutsstödjande system som, Spatial Decision Support Systems, SDSS kan utnyttjas.

En annan aspekt som är viktig att beakta vad beträffar risker i ett helhetsmässigt perspektiv är spännvidden mellan det tekniska och det beteendeorienterade perspektivet. Det är tydligt att den dominerande tekniska definitionen inte är tillräckligt nyanserad för att täcka in alla aspekter som begreppet risk kan tänkas rymma. Detta enkla problem är viktigt att beakta då det i förlängningen torde vara en avgörande faktor för hur en riskbedömning bör/skall utformas och/eller utföras och hur resultatet tolkas. Ett utslag av att den tekniska definitionen oftast ligger till grund för undersökningar idag är att allmänhetens förtroende för undersökningsresultatet tenderar att bli lågt. Problemet är viktigt att arbeta med eftersom det på många sätt avgör trygghetskänslan i samhället samt möjligheten att genomföra större samhällsnyttiga projekt. En av de stora fördelarna med multikriteriemetoder är just att de har förmågan att införliva subjektiva och kvalitativa egenskaper för att bedöma de aktuella riskerna. Användaren kan göra avvägningar mellan vad han/hon anser vara en stor eller liten risk och vilken betydelse t ex hälsorisker har för honom/henne relativt miljörisker.

Att genomföra integrativa och regionala riskstudier innebär att man är tvungen att handskas med stora frågor och problem. Enorma datamängder skall behandlas, effekterna av tid och rum försöka reduceras, problemen måste kunna ställas upp överskådligt, etc. En förutsättning för att övervinna dessa svårigheter är förekomsten av teknologiska hjälpmedel. IT, GIS, GPS, fjärranalysverktyg är kanske de viktigaste redskapen men det finns flera andra. Tillgängligheten till dessa verktyg och deras kapacitet och användarvänlighet har ökat drastiskt bara under 1990-talet. Datorn har mer eller mindre blivit var mans egendom, i alla fall i västvärlden. Den tekniska utvecklingen har varit av avgörande betydelse för att kunna bedöma och hantera risker på ett integrativt sätt och mer eller mindre oberoende av tid och rum (bl a vad beträffar operativ riskhantering).

Ser man till vilka områden där man idag mer praktiskt använder sig av ett integrativt och regionalt tillvägagångssätt för att bedöma risker kan framför allt två grenar urskiljas:

1. Spridningsmodeller
2. Metoder att integrera flera olika aktörer i beslut som berör risker.

Den regionala dimensionen är på förhand given i spridningsmodellerna. Spridningsmönstret, och därmed riskerna är också starkt beroende av det omgivande landskapets topografi, markanvändning, demografiska struktur etc vilket gör det angeläget att integrera många faktorer i bedömningarna. Transport av farligt gods är ett näraliggande område där en liknande metodik tillämpas för att bedöma risker vid olyckor. Vissa ansatser, t ex ARIPAR-prjektet, har försökt att integrera såväl risker med transport av farligt gods som risker från fasta anläggningar vilket innebär att riskbedömningen får en större allmängiltighet.

De metoder som har till ändamål att integrera allmänheten i besluten kan delas in i två fraktioner, de som baseras på diskussionsmetoder och sådana som bygger på att datorer kopplas samman i nätverk. Dessa metoder/modeller har det gemensamt att de strävar efter allmän kon-

sensus för en gemensam strategi som alla slutligen stödjer. För att en sådan process skall anses fullkomlig och demokratisk krävs emellertid en mangrann uppslutning. Kanske kan allmänhetens deltagande i den fysiska planeringsprocessen öka i och med att allt fler blir uppkopplade till Internet? Sammansmältningen av GIS och multikriteriemetoder, beslutsstödjande system och spridningsmodeller ger en möjlighet, inte bara att integrera allmänheten i beslut som omfattar risker i rummet, utan också att testa och förstå konsekvenserna av frågeställningar som ”vad händer om man placerar anläggning A intill bostadsområde B?”. Tillvägagångssättet har starka kopplingar till IRRASM:s syfte och ambitioner. De två metoderna bör dock ses som komplement till varandra.

Utvecklingen av metoder och verktyg för att bedöma risker är spridd på flera verksamhetsgrenar och olika länder. Innebörden i många av de akronymer, figurer, uttryck, metoder etc som behandlats i rapporten bildar därför en arkipelag där det existerar såväl överlappningar som glapp vad beträffar att täcka hela riskdimensionen och allt som är relevant i denna. De metoder, modeller, verktyg etc som samlats i figur 14.1 täcker sannolikt in den större delen av vad som är önskvärt att beakta i en integrativ regional riskstudie. IRRASM starka sida är ambitionen och förordandet av att koppla samman denna mängd metoder och att göra det metodiskt och på ett adekvat sätt (rätt metod/modell på rätt plats och i rätt sammanhang). Ruta A i figur 14.1 visar på spektrat av risker och händelser som kan inträffa i en region. Ruta B listar de metoder och modeller som diskuterats i rapporten. De två polerna vad beträffar bedömningsgrunder av risker kommenteras med nyckelord i ruta C. I ruta D ges några exempel på tekniska hjälpmedel för en rumslig riskanalys.

Rummet är ett centralt element i IRRASM och kräver några reflektioner. Betoningen av regionen som utgångspunkt istället för de enskilda objekten är ett angreppssätt som tar fasta på att riskerna i samhället utgör ett geografiskt problem där det krävs en mångfald av metoder och betraktelsesätt för att fastställa hur den sammanlagda riskbilden ser ut. Synen på en rumslig riskhantering utvecklas också i Regeringens proposition *Beredskap mot svåra påfrestningar i fred* och märks också i de skrifter av ÖCB som behandlar ett robust samhälle (Berglund m fl 1997a, 1997b, 1997c och 1998). ÖCB har dock fokuserat på lokalsamhället medan IRRASM betonar riskhantering på den regionala nivån. Däremellan finner vi i Sverige Räddningsverkets fokus på den kommunala nivån. Detta ger upphov till flera intressanta frågor. Hur mycket av IRRASM-metodiken går att applicera på den lokala eller kommunala nivån? Vilka risker kräver ett regionalt angreppssätt och vilka kan behandlas på lokal nivå? Även om det ter sig troligt att mycket av IRRASM-strategin går att tillämpa på en mer lokal nivå (säg kommun) är det ändå angeläget att i en eventuellt fortsättande fas försöka klargöra vilka risker som är lämpliga att hantera på olika rumsliga nivåer.

Det är inte bara de rumsliga nivåerna som är intressanta att diskutera vad avser IRRASM:s tillämplighet. I en del integrativa metoder (företrädesvis sårbarhetsanalysen) utvecklas en systemsyn. Frågan som uppkommer då är naturligtvis hur ett system kan eller lämpligen bör avgränsas med avseende på det robusta samhället. Några möjligheter är:

1. Att se till en enstaka samhällsfunktion (transportsystem, elsystem, etc).
2. Att fokusera på undergrupper till samhället, d v s de ekologiska, sociala och tekniska systemer eller mer konkreta som företag.
3. Att försöka se en större del av samhället som ett system. Här kommer vi åter in på frågan hur stor del av samhället som kan betraktas.

En sårbarhetsanalys som fokuserar på det robusta samhället torde teoretiskt sett vara praktiskt användbar på alla tre nivåerna. I avsnitt 14.3 beskrivs några olika forskningsprojekt som fo-

kuserar på de olika nivåerna och som utreder sårbarhetsanalysens förmåga att tränga in i dessa.

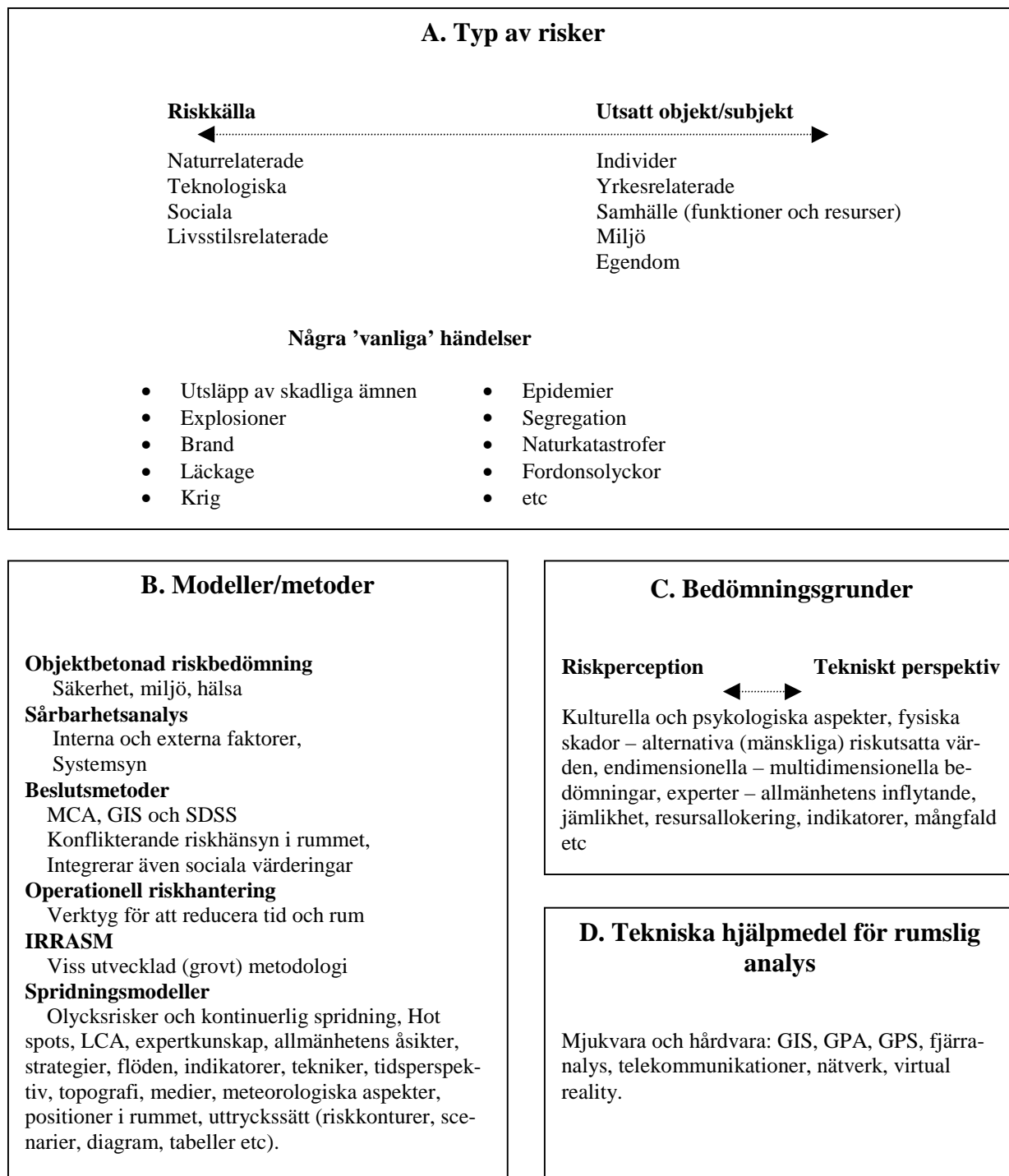


Fig 14.1 Översikt över de områden som behandlats i rapporten.

Den integrativa dimensionen har i rapporten diskuterats ur flera perspektiv. Så här långt är det tydligt att det inte går att ge någon enkel eller entydig förklaring på vad som avses med integrativa eller regionala aspekter i IRRASM-begreppet. IRRASM ger något för vaga antydningar om detta. Det ligger i riskproblematiken att varje risktyp sprider sig på ett, för den unikt, sätt som dessutom inte sällan är beroende av omgivningens förutsättningar. Vissa modeller/metoder för riskbedömning integrerar fler risker och aspekter än andra medan vissa tränger djupare in i sitt område. Även om breda metoder och modeller har lovordats ovan förefaller rimligt att det finns en trade-off mellan metoders/modellers bredd och djup. Det är därför viktigt att understryka att dessa objektbetonade metoder är outhärliga och är väl så adekvata så länge de används i rätt sammanhang. En trend är dock skönjbar. Olika risktyper sätts allt oftare in i ett bredare sammanhang då de bedöms och hanteras, detta gäller ur såväl ett rumsligt som ett systemperspektiv. Likaså kopplas olika tekniker och verktyg ihop på nya sätt vilket medför att gränserna för vad som är tänkbart och möjligt att utföra ständigt flyttas framåt.

Det är också viktigt att konstatera att ingen av de metoder som penetrerats kan se till hela risksituationen med allt vad det innebär (olika risker p g a risktyper eller riskernas kvalitativa egenskaper, ekologi, ekonomi, sociala dimensioner etc). IRRASM är endast ett ramverk och tillhandahåller inte någon detaljerad metodik för att integrera de olika delarna till ett enstaka mått. Gheorghe & Nicolet-Monnier (1995) anser det inte heller troligt att det går att framställa en enskild riskindikator för att jämföra risker, delvis beroende på att värderingarna inte är globalt rådande och att indikatorerna måste anpassas till platsens unika förutsättningar. En lösning skulle kanske kunna vara att använda flera mått och utifrån dessa försöka ge en mer kvalitativ samlad bedömning.

Den översikt som görs över i vilka miljöer (geografiskt och verksamhetsmässigt) olika IRRASM-ansatser slagit rot visar att det är i relativt välmående, kanske främst tätbefolkade delar av Europa som Schweiz, Österrike och Holland som detta har skett (i alla fall initialt). Även i de mer glest befolkade, nordiska länderna görs integrativa riskstudier med fokus på risker i rummet i stället för det enskilda objektet. Ser man till endast svenska förhållanden och vad som sker här med avseende på det robusta samhället, är det tydligt att det sker ett arbete ganska jämnt över myndigheter, universitet och forskningsanstalter. Det är viktigt att påpeka att denna studie endast har ambitionen att ge en första översikt över den integrativa regionala riskforskningen och inte att vara uttömmande. För en sådan studie skulle en mer grundläggande inventering behöva genomföras.

14.2 Slutsatser

Som en följd av ovanstående diskussion är det möjligt att dra några slutsatser vad beträffar ett integrativt och rumsligt angreppssätt för att hantera risker och då särskilt med avseende på ett robust/sårbart samhälle:

- IRRASM grundläggande ambitioner är att ta ett brett grepp för att bedöma riskerna, något som ter sig ytterst angeläget i ett komplext och sårbart samhälle där "allt hänger ihop" och där riskerna kan ge upphov till effekter med en omfattande rumslig spridning.
- Betoningen på en geografisk utgångspunkt erkänner risker som ett rumsligt problem vilket påtagligt förbättrar förutsättningarna att överblicka och bedöma riskerna i landskapet och i slutändan producera ett mått på den samlade riskbilden. Angreppssättet ligger väl i linje med strävan efter att arbeta mot ett robustare samhälle.

- IRRASM gör inte anspråk på att vara en fulländad metod för att bedöma och hantera de problem som hot och risker utgör. I stället förespråkas en mjuk strategi, i form av en vägledning, för riskhantering i samhället. I denna förordas utnyttjandet av flera metoder, modeller och verktyg för att komma fram till en samlad riskbild i en region. Att integrera olika, ofta specialiserade, metoder/modeller och verktyg med varandra verkar ge möjligheter att nå ett resultat som är något mer än summan av vad som är möjligt att uppnå med de enskilda delarna.
- Vad som avses med samlad riskbild och vad och i vilken omfattning som bör integreras i en undersökning är inte självklart. Ofta inordnas relativt smala (ur ett samhällsperspektiv) metoder under IRRASM (t ex spridningsmodeller och LCA). En IRRASM-studie med avseende på att bedöma riskerna mot samhället, kräver emellertid en mycket bred undersökningsmetodik.
- I rapporten har redovisats flera existerande metoder, modeller och exempel på sammankopplingar av tekniska verktyg med integrativa ansatser. Några av de mest framträdande är kanske *sårbarhetsanalysen*, *multikriteriemetoder* och *GIS*. Dessa torde kunna inordnas under rubriken "lämpliga IRRASM-verktyg" och utnyttjas i mindre eller större omfattning i en IRRASM-studie.
- Ett tvärvetenskapligt arbetssätt framhålls som föredömligt. Innebörden av en metodik som omfattar flera discipliner och kunskapsområden är flerbottnad. Alltifrån identifiering av vad som är en risk till hur den bör bedömas och hanteras påverkas troligtvis av ett sådant angreppssätt.
- Emfas läggs på vikten av att integrera allmänheten i bedömning och hantering av risker. Detta är inte bara viktigt för att kunna göra en mer fullständig bedömning av riskerna i ett område utan även för att myndigheternas beslut i större projekt inte skall mötas med allmänhetens misstro och skepsis.
- Forskning och tillämpning av IRRASM-ansatser verkar vara koncentrerade till några få verksamhetsområden. Praktiskt sett är det främst spridningsmodeller och olyckor vid transport av farligt gods och att integrera allmänheten i beslut med riskkonsekvenser där utvecklingen varit mest pådrivande. Det föreligger emellertid en stor potential att utveckla metodiken till att också omfatta andra områden.
- I rapporten nämns några miljöer, ur rent geografiskt avseende, där tankarna på en integrativ och regional riskansats haft sitt ursprung eller där det kommit till uttryck på ett sätt som är intressant för tankarna på att utforma ett robust samhälle. Detta avsnitt kan inte ses som uttömmande utan ger närmast fingervisningar om i vilken typ av miljöer (myndigheter, universitet etc) och länder (industrialiserade sådana där det finns en betydelsefull miljömedvetenhet) man kan förvänta sig att hitta IRRASM-ansatser i.

En del av de frågor som ställdes i början på arbetet med rapporten har blivit besvarade men samtidigt har flera nya uppstått. En central fråga är i vad mån och i vilken utsträckning de metoder som granskats (sårbarhetsanalyser, beslutsmetoder etc) egentligen kan användas för att bedöma riskerna mot det robusta samhället. I bilaga 4 ges i en matris en översikt över två olika integrationsdimensioner avseende metodval och funktion eller resurs i samhället. Matrisen är en överskådlig utgångspunkt för den diskussion som sker nedan i avsnitt 14.3 avseende

angelägna forskningsprojekt. Här skisseras huvuddragen i några forskningsprojekt som författarna anser sig angelägna för att besvara en del av de frågetecken som existerar kring IRRASM's användbarhet i olika sammanhang.

14.3 Skiss till ett antal FoU-projekt för vidare utredning

14.3.1 Översikt av integrationsdimensioner. Ramprogram för forskning.

Utredningen har påvisat ett fortsatt FoU-behov som sträcker sig över en rad vetenskaps- och ämnesområden. För att i viss mån strukturera FoU-området har vi valt att utgå från bilaga 4 som ger två integrationsdimensioner med en tredje dimension utelämnad. Dimensionerna är:

1. Riskutsatta samhälls- och funktionsområden.
2. Specifika modeller och metoder.
3. Modeller för beslutsfattande, speciellt de sociala dimensionerna.

I bilaga 4 visualiseras de två första dimensionerna. I dimension 3 ingår dels normativa föreskrivande modeller om beslutsfattande, dels beskrivande modeller om människors och gruppers faktiska beslutsfattande i komplexa och dynamiska situationer. Några relevanta termer är t ex beslutsteori, ingenjörsmetoder för beslutsanalys (CCPS 1995), "supersoft decision theory" (Malrnäs 1995) dynamiskt beslutsfattande och naturalistiskt beslutsfattande, riskperception och riskkommunikation.

Med bilaga 4 som bakgrund kan en allmän metodik för val av FoU-uppgift skisseras. En metod är att välja en horisontell integrationsdimension; d v s att för en specifik risk eller ett hot, jämföra och utvärdera olika metoder/modeller eller andra verktyg som bakgrund för ett beslutsfattande. En annan metodik är att välja att göra integrationen vertikalt, d v s utgå från en speciell metod eller verktyg och analysera en delmängd av de definierade hoten eller riskerna. En tredje metodik, och den som förmodligen är mest trolig i ett inledande forskningsskede kan vara att välja ett enskilt element, d v s en specifik kombination av risk/hot och metod/verktyg som bas för ett projekt.

En första prioriterad uppgift borde vara att närmare undersöka om metodiken ovan kan tjäna som bas för att producera ett nationellt, sammanhängande forskningsprogram på området *integrerad regional riskbedömning*. Speciell uppmärksamhet borde ägnas de olika metodernas användbarhet för olika geografiska skalor (grannskap, kommun, regioner). I avsaknad av en sådan utredning skisseras nedan några enstaka FoU-projekt.

14.3.2 Testa någon tillgänglig datormodell på svenska förhållanden vad beträffar olycksrisker och risker mot hälsa och miljö

Bakgrund: I avsnitten 9 och 11 har visats på möjligheter att med hjälp av GIS och spridningsmodeller beräkna risker från olika källor. Med hjälp av sådana integrerade system blir det möjligt att i beräkningarna ta hänsyn till den enorma komplexitet som förekommer i de olika situationerna. I bl a avsnitt 3 har redogjorts för skillnaderna i beräknings- och presentationssätten mellan olycksrisker och miljörisker. Modeller som beräknar olycksrisker är exempelvis SOCRATES, PHAST + SAFETI, HITERM och XENVIS medan AirPEX, HEGIS och XENVIS fokuserar på hälsa och miljö.

Målsättning och grundläggande struktur varierar mellan modellerna. Man kan t ex skilja på mjukvaror som bygger på:

- a) Integration av GIS, spridningsmodeller GPA (exponering) och effektmodeller.
- b) Som a) plus riskberäkning och presentation av risk.
- c) Som b) plus integrerat beslutsstöd.

Målsättning: att undersöka den praktiska användbarheten av något eller några av dessa mjukvarusystem och att granska dess kvaliteter och brister. Vad tillför dessa integrativa modeller området riskhantering? Kan de utvecklas till att omfatta andra aspekter som är av intresse för ett robust samhälle? På vilket sätt kan de kombineras med annan rumslig information?

Genomförande: ett antal projekt kan redan definieras:

- Kartlägga marknaden mer noggrant än vad som varit möjligt i denna rapport.
- Strukturer och indatakrav måste identifieras. Bl a måste klargöras om det finns nödvändiga relationsdatabaser och andra typer av indata.
- Om mjukvaran är tillämpbar för svenska förhållanden, göra ett antal tester för att utvärdera resultatet.
- Om mjukvaran inte direkt kan användas för svenska förhållanden, göra ett antal tester och utvärdera resultatet.

Nödvändiga resurser: Beror på mjukvaran, användningsområde (kategorierna a), b) och c) ovan, om olycksartade utsläpp och/eller utsläpp från normal drift ska behandlas etc)

14.3.3 Utredning av beslutsmodeller framför allt MADM.

Bakgrund: Vi har i utredningen nämnt tre ”mega-tools” som bas för beslutsfattande: *kostnad/nytta-analys*, *beslutsanalys* och *kvantitativ riskanalys*. Det påpekades att dessa verktyg är så komplexa, arbetskrävande och med så stora krav på information att användningen begränsas till specialfall. Resultatet är att existerande SDSS-mjukvara oftast använder en form av MCA-modeller som beslutsstöd.

Målsättning: Att ge en översikt av existerande MCA-metoder för beslutsstöd och utarbeta en handledning för deras praktiska användning.

Genomförande: Projektet bör inledas med att ett antal praktiska beslutssituationer inom ÖCB:s arbetsområde definieras med avseende på bl a

- Tillgängliga resurser att genomföra analysen.
- Problem-komplexitet.
- Beslutets betydelse.
- Antalet beslutsfattare.
- Behov av kvantifiering.

I en fas två görs en genomgång och utvärdering av existerande MADM eller MCA-metoder med syfte att med utgångspunkt från karakteriseringen av beslutsteorin ovan, välja en optimal utvärderingsmetod som stöd för beslutsfattande.

14.3.4 Sårbarhetsanalyser för några tekniska system

Bakgrund: I avsnitt 5 beskrevs huvuddragen till en sårbarhetsanalys av komplexa tekniska system. Första steget är identifiering av riskfaktorer som påverkar sårbarheten. Miljöfaktorer, sociala faktorer infrastrukturfrågor, juridiska faktorer, marknadsfaktorer, etc räknas som yttre

faktorer. Som inre sådana räknas tekniska fel, inverkan av organisation och administration, underhåll, bemanning etc. Varje riskfaktor utgör startpunkten för ett antal skeden, scenarier. Frekvensen och skadeomfång uppskattas kvalitativt liksom inverkan av olika skydd. För avgörande scenarier görs en kvantifierad uppskattning av frekvens och skada (på människa, miljö, egendom och affärsrörelse enligt en strukturerad skala). Resultatet blir ett totalt skadeindex för varje scenario.

Målsättning: Utföra en sårbarhetsanalys för ett viktigt tekniskt system av typen elförsörjning.

Genomförande: Välja anläggning, samla indata, modellera systemet, identifiera hot- och riskfaktorer, utveckla scenarier, rangordna risknivåer, genomföra kvantitativ analys och eventuellt föreslå riskreducerande åtgärder.

14.3.5 Utreda scenariobaserade sårbarhetsanalyserns förmåga att granska olika system

Bakgrund: I rapporten har sårbarhetsanalyser framställts som på flera sätt vitala i jämförelse med riskanalyser, speciellt i samband med att undersöka riskerna mot det sårbara/robusta samhället. Tre analysmetoder har beskrivits; sårbarhetsmatriser (riskmatriser med ett brett perspektiv), nyckeltal i kombination med ett naturekonomiskt redovisningsprogram och scenariobaserad analys. Som redogjorts för ovan har den scenariobaserade analysmetoden utvecklats för att undersöka sårbarheten i tekniska system. En fråga är emellertid om analysen även skulle kunna tillämpas på andra samhällssystem. Det breda angreppssättet torde i så fall vara en tillgång.

Målsättning: Det ter sig angeläget att prova scenariobaserad sårbarhetsanalys på övriga dimensioner av det robusta samhället, d v s förutom det tekniska även:

- Sociala system för att undersöka sårbarheten/robustheten i relationer och organisation
- Ekologiska system och då fokusera på resursuttag och flöden och kretslopp.

En möjlighet är att kombinera dessa perspektiv för att undersöka ett helt grannskaps sårbarhet/robusthet. På så vis framträder också ett alternativt tillvägagångssätt till FOA's indexbaserade metod. En intressant fråga är om de båda metoderna ger samma resultat. Kanske kan GIS och beslutsstödssystem användas för att identifiera olika riskscenarier. Frågan om det är tänkbart att utreda sårbarheten i hela regioner bör också undersökas.

14.3.6 Jämförelse mellan olika metoder att rangordna risk och sårbarhet: PRA – indexmetoder – sårbarhetsanalys

Bakgrund: I rapporten har vi försökt redovisa i grova drag tre riskbedömningsmetoder med potentiell användning inom området integrerad regional riskbedömning; Probabilistisk analys (PRA), sårbarhetsanalys och indexmetoder. De tre metoderna uppvisar helt skilda egenskaper med avseende på praktisk användning, fördelar, nackdelar och begränsning.

Målsättning: På sid 42-43 i ÖCB-skriften "Robusthet i den fysiska miljön" (Berglund (red) 1998) redovisas för Malmöregionen ett stort antal riskfaktorer i en riskmatris och ett diagram redovisar ett antal förslag till prioritering av riskreducerande åtgärder. Dessa diagram har skapats med kvalitativa bedömningar som grund. Målsättningen är att för några av de dominerande riskfaktorerna och de prioriterade åtgärderna se i vilken utsträckning den rent kvalitativa

tiva analysen och beslutsunderlaget kan förbättras med användning av ovan tre nämnda metoder.

Genomförande: De tre metoderna jämförs bl a med avseende på:

- Tillgång till data, kvalitet på indata.
- Arbetsinsats vid genomförande av en analys.
- Praktisk användbarhet och nytta av analysresultatet.
- Möjlighet att kvalitetssäkra analysprocessen med avseende på omfattning, fullständighet, logisk stringens (konsistens), kontrollbarhet, dokumentation.

14.3.7 Hur kan ett IRRASM-angreppssätt tillämpas i en region?

Bakgrund: IRRASM är tänkt att vara ett instrument för att bedöma och hantera riskfrågor som kräver ett regionalt och integrativt förhållningssätt. En mängd metoder, modeller och verktyg som kan användas för detta har presenterats i rapporten. De olika tillvägagångssätten har emellertid olika egenskaper och användningsområden och kan/bör tillämpas på olika problemtyper vars geografiska omfattning varierar. Flera frågor uppstår i sammanhanget och kräver ett svar. Var går t ex gränsen mellan när det är lämpligt att använda en riskanalys respektive sårbarhetsanalys? I vilka sammanhang kan man använda en spridningsmodell i samband med det robusta samhället?

Målsättning: Att identifiera risker och sårbara objekt/subjekt samt undersöka vilka problem (d v s hot och risker) som kräver ett regionalt integrativt tillvägagångssätt och vilka som kan lösas på en lokal nivå. En viktig uppgift blir att försöka definiera vilka metoder och verktyg som är tillämpbara på de olika problemen och i vilka sammanhang.

Genomförande: Genom att konkret utgå från en region, t ex Öresundsregionen, och inventera de problem och risker som föreligger här borde det vara möjligt att finna s k hotspots med olika hög komplexitetsgrad och problematik. En hot spot karakteriseras av att det är ett område där det är sannolikt att det kan ske en olycka och att denna i så fall ger allvarliga konsekvenser. Det är alltså ett samspel mellan riskkälla och utsatt objekt/subjekt. För varje hotspots kan frågan ställas om det är ett problem som kräver en IRRASM-strategi för optimal hantering och vilka verktyg, modeller och metoder som är tillämpliga.

Ett tidsgeografiskt tillvägagångssätt skulle kunna utvecklas där det är möjligt att följa riskkälla och utsatta objekt/subjekt i tid och rum. Genom att lokalisera varje risktyp (d v s riskkällans position och dess effekters utbredning såväl som de utsatta objekten/subjektens läge) för sig i rummet och registrera dem i olika GIS-lager blir potentialen att modellera med olika risksituationer och simulera olika förlopp omfattande.

Bilaga 1 Kvantitativa riskbedömningar

I figurerna 3.2 och 3.3 åskådliggjordes skillnaden i tillvägagångssättet för att bedöma olycksrisker och miljö- och hälsorisker. Nedan följer nu en genomgång av beräkningssättet för olycksrisker och mer utförligt hur bedömningen av miljö- och hälsorisker går till.

A. Beräkning av olycksrisker

Det finns flera typer av mått på olyckor. I det följande beaktas risk för ekonomisk förlust eller mänsklig skada. *Riskindex* uttrycks som enstaka tal eller tabeller medan *individuellt riskmått* fäster avseende vid en individ som kan befinna sig inom den zon en incident kan ge en skadlig effekt. *Samhällsrisk* liknar det individuella riskmättet men ser till en befolkning istället för individ. Riskindex karakteriseras av vissa begränsningar och redovisas inte här.

Presentationen av de båda andra sätten nedan bygger på skriften *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis* (Center for Chemical Process safety of the American Institute of Chemical Engineers 1989).

14.3.8 Individuella riskmått

Individuella riskmått kan presenteras på flera sätt. I det följande redovisas *individuella riskkonturer*. Sådana visar den förväntade frekvensen för att en händelse skall orsaka en specifik skadenivå i en viss geografisk punkt. Detta oavsett om någon befinner sig på denna punkt eller ej (se figur B1.A1).

Punkter som uppvisar lika stora värden sammanbinds av linjer, så kallade riskkonturer. På så vis kan sårbara punkter i rummet runt en riskkälla snabbt identifieras.

Vid beräkning av individuell risk i rummet utgår man ifrån att det är möjligt att summera verkningar från alla incidenter. Den totala risken i varje punkt är därmed lika med summan av alla individuella risker som t ex härstammar från en anläggning så att:

$$IR_{x,y} = \sum_{i=1}^n IR_{x,y,i}$$

$IR_{x,y}$ = den totala individuella risken för dödsfall vid en geografisk punkt X, Y (möjliga dödsfall per år)

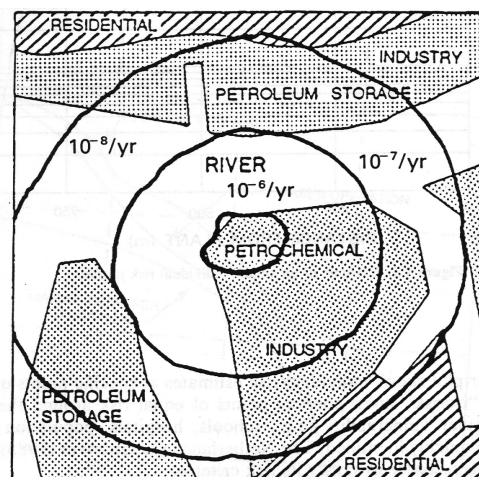
$IR_{x,y,i}$ = den individuella risken för dödsfall vid en geografisk punkt X, Y från skadeverkningsfall i (möjliga dödsfall per år).

n = det totala antalet skadeverkningsfall som berörs i analysen.

$IR_{x,y,i}$ fås av att $IR_{x,y,i} = f_i p_{f,i}$

f_i = frekvensen av skadeverkningsfall i , (mättet härstammar från en genomförd frekvensanalys).

$p_{f,i}$ = sannolikheten att skadeverkningsfall i skall resultera i ett dödsfall vid punkten X, Y (från konsekvens- och effektmodeller).



Figur B1.A1: Exempel på individuell riskkonturkarta

Källa: Center for Chemical Process safety of the American Institute of Chemical Engineers 1989

$$f_i = F_i p_{O,i} p_{OC,i}$$

F_i = frekvens av incident I, vars skadeverkningsfall är i .

$p_{O,i}$ = sannolikheten att skadeverkningsfall i inträffar givet att incident I har inträffat

$p_{OC,i}$ = sannolikheten skadeverkningsfall i inträffar givet att förelöpande incident I inträffar och att skadeverkningsfall i svarar mot skadeverkningsfallet i .

Beräkningen av f_i kräver en värdering av skadeverkningsfall och sannolikheten för skadeverkningsfallen ($P_{O,i}$, $p_{OC,i}$) givet att incident I inträffar. När väl f_i beräknats och plottats ut i kartan kan så själva riskkonturerna definieras.

14.3.9 Samhällsrisker

Samhällsrisk är ett riskmått för en grupp människor, ofta uttryckt som en frekvensfördelning av ett flertal olyckshändelser. Beräkning av samhällsrisk kräver samma information som för individuell risk men dessutom kunskap om befolkningen kring den aktuella riskkällan (verksamhetstyp, dag/nattbefolkning etc). Antalet människor som drabbas av varje skadeverkningsfall ges av:

$$N_i = \sum_{x,y} P_{x,y} p_{f,i}$$

N_i = antalet dödsfall som kommer av skadeverkningsfall i

$P_{x,y}$ = antalet människor vid koordinaterna X, Y

$p_{f,i}$ har definierats ovan

Antalet individer som överhuvudtaget berörs av alla skadeverkningsfall måste också fastställas. Detta resulterar i en lista över alla skadeverkningsfall där var och en tillskrivs en frekvens och det berörda antalet individer. Informationen kan sedan användas för att rita en F/N-kurva (Frequency/Number).

$$F_N = \sum_i F_i \text{ för alla skadeverkningsfall } i \text{ där } N_i \geq N$$

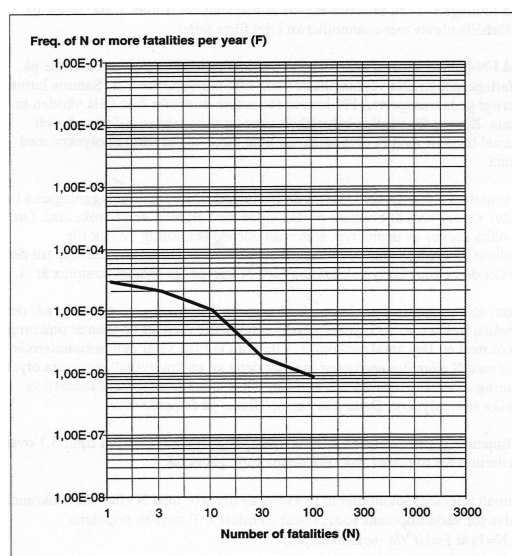
F_N = frekvensen av alla skadeverkningsfall som berör N antal, eller fler, människor

F_i = frekvensen av skadeverkningsfall i

N_i = antalet människor som berörs av skadeverkningsfall i

Resultatet är en uppsättning data som ger F_N som en funktion av N. Detta förhållande kan sedan plottas i en s k F/N-kurva (se figur B1.A2). Beräkning av samhällsrisker kan vara mycket tidskrävande eftersom dödsfall måste uppskattas för varje skadeverkningsfall.

Individuell risk och samhällsrisk är egentligen olika presentationsformer av samma underliggande kombination av händelsefrekvens och konsekvens. Följande exempel belyser skillna-



Figur B1.A2 Exempel på F/N-kurva
Källa: SRV 1998

den mellan de två måtten:

I en kontorsbyggnad som är belägen intill en kemisk anläggning arbetar 400 människor under kontorstid och en väktare under övriga tider. Om sannolikheten för att en händelse skall orsaka ett dödsfall i kontorsbyggnaden är konstant under dygnet är varje individ i den byggnaden utsatt för en viss individuell risk. Denna individuella risk är oberoende av antalet människor som är närvarande, den är likadan för var och en av de 400 människorna i byggnaden under kontorstid och för den ensamme väktaren under övriga tider. Den samhälleliga risken är emellertid betydligt högre under kontorstid än under de tider då en ensam person berörs.

B. Hälso- och miljörisker relaterade till exponering för kemikalier

Redovisningen nedan av hur hälso- och miljörisker kan bedömas med avseende på exponering för kemikalier bygger på *Risk Assessment of Chemicals* av van Leeuwen & Hermens (1995). Det är endast en översiktlig genomgång med syfte att främst jämföra beräkningsgången med tillvägagångssättet ovan för att beräkna olycksrisker (se även avsnitt 3.2 och figur 3.1).

I **det första steget** försöker man **identifiera** de skadliga effekter på hälsa och miljö som t ex en kemisk substans kan ge upphov till samt under vilka förhållanden detta sker. Sådan information kan ges av experiment i laboratoriestudier. En viktig fråga man ställer sig är huruvida de data man får fram även kan appliceras på andra populationer under liknande exponeringsförhållanden.

I **steg två** görs en **effektbedömning** eller en **dos-respons bedömning** av förhållandet mellan en dos (grad av exponering) av ett ämne och hur allvarlig effekt detta ger. Det är en kvantitativ beskrivning där tidsförloppet har stor betydelse. Emedan exponering för höga koncentrationer under kort tid kan ge upphov till akuta effekter är det möjligt att utsatthet för samma ämne under längre tid och i låga koncentrationer kan ge cancer.

I **steg tre** görs en **exponeringsbedömning** genom att mäta upp exponeringskoncentrationer då den kemiska substansen släppts ut. I en sådan bedömning ingår att ta hänsyn till flera faktorer som berör själva utsläppet för att få kännedom om vilka koncentrationer (doser) människor eller miljöområden kan komma att utsättas för. Häri ingår också att beskriva de utsatta subjektens/objektens storlek, egenskaper och varaktigheten av exponeringen. Osäkerheten i exponeringsbedömningen är oftast mycket stor. Detta har sin grund i brist på information, dels om emissionsfaktorer under kemikalieproduktion (punktvisa utsläppskällor) och dels de emissioner som kommer från användningen av kemikalier i olika produkter. Den stora geografiska, komplexa variationen vad beträffar klimat, hydrologiska faktorer, geologi och strukturerna i ekosystemen är också orsaker som bidrar till osäkerheten.

I **steg fyra karakteriseras** risken vilket innebär att en bedömning görs av konsekvenserna och av de skadliga effekterna på en befolkningsgrupp eller i ett miljöområde (luft vatten etc) till följd av en verklig eller prognosticerad exponering för en viss substans. I detta steget kan även en riskuppskattning utföras (d v s sannolikheten kvantifieras). Den frekvensmetod som används för att bedöma säkerhetsrisker är inte tillämplig här (Suter II 1993). Det är omöjligt att upprepa exakt likadana exponeringssituationer av populationer eller ekosystem för att en bedömare skall kunna bestämma en frekvens eller effekt, eftersom situationerna är för komplexa. Den form av sannolikhet som används i de ekologiska riskbedömningarna är istället kredibilitet (att likställa med sannolikhet av en viss väderlek i väderprognoser). Givet osäkerhet i

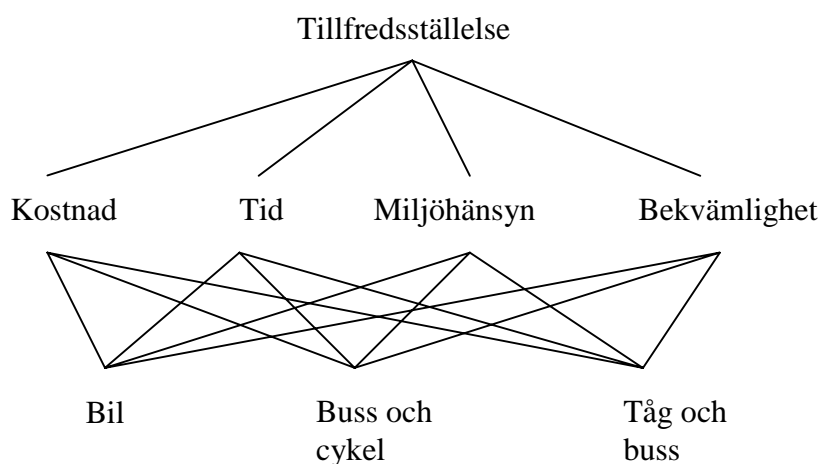
data, miljöns stokasticitet och precisionen i antaganden i modellen kan man säga att det finns en viss uppskattad sannolikhet (credibility) av en effekt. Med hjälp av olika statistiska metoder och felanalyser i matematiska modeller är det möjligt att framställa sannolikhetsdensitetsfunktioner för exponering och effekt. I en sådan funktion visas den sammanlagda sannolikheten för att en viss koncentration skall påträffas i miljön givet en särskild bedömning av det rumsliga och tidsmässiga mönstret av ett utsläpp från en eller flera källor och att en effekt skall inträffa vid den koncentrationen (Suter II 1993).

I riskkaraktiseringen integreras de tre tidigare stegen. Det är viktigt att konstatera att det är mycket svårt (omöjligt) att, på grund av den höga komplexiteten, göra några helt korrekta riskbedömningar. Olika forskare drar därför sällan exakt likadana slutsatser. Svårigheten att exakt bedöma risker från till exempel olika kemikalier gör att man oftast nöjer sig med att jämföra olika risker med varandra, d v s riskerna rangordnas relativt varandra. På så vis är det möjligt att på ett enkelt sätt välja ett säkrare alternativ framför ett osäkrare utan att ha kännedom om den exakta risken.

Riskkaraktiseringen avslutar bedömningsstegen och därefter påbörjas eventuellt riskreducerande åtgärder. Osäkerheten i bedömningen gör att dessa steg inte kan utföras mekaniskt och stelt utan här måste ett samspel ske mellan vetenskap och politiska beslutsfattare.

Bilaga 2 Praktisk användning av AHP-metoden

För att illustrera metodiken med att ta fram vikter i MADM-metoden visas ett exempel med val av resesätt. Den viktiga principen är tillfredsställelse med resesättet enligt ett antal kriterier. Det som påverkar är kostnad, tid miljöhänsyn och bekvämlighet. Det finns tre alternativa resesätt; *bil*, *buss och cykel* samt *tåg och buss*. Hierarkin kan beskrivas som figur B2.1.



Figur: B2.1 Åskådliggörande av hierarkin i exempel ovan

AHP bygger på parvisa jämförelser mellan komponenterna. Genom att värdera komponenterna (t ex för två alternativ A och B) inbördes erhålls en gradering mellan dem, t ex med en skala från 1 – 5 där 1 innebär att A är lika viktigt som B och 5 att A är mycket viktigare än B.

I det första steget görs en parvis jämförelse (se matris 1) mellan de olika kriterierna för att vikta dem så som sammanfaller med beslutsfattarens preferenser.

Matris 1: Beslutsfattarens preferensvikter för de olika kriterierna.

	Kostnad	Tid	Miljöhänsyn	Bekvämlighet
Kostnad	1	1/5	1/2	1/3
Tid	5	1	2	1 + 2/3
Miljöhänsyn	2	1/2	1	2/3
Bekvämlighet	3	0,6	1,5	1
Summa	11	2,3	5	3 + 2/3

Därefter görs relativa prioriteringar av kriterierna. I det här fallet med en approximativ metod men det är även möjligt att använda ett geometriskt medelvärde.

Matris 2: Normaliserad parvis jämförelse

	Kostnad	Tid	Miljöhänsyn	Bekvämlighet
Kostnad	$1/11 = 0,09$	$1/5/2,3 = 0,09$	$1/2/5 = 0,1$	$1/3 / 3 2/3 = 0,09$
Tid	$5/11 = 0,45$	$1/2,3 = 0,43$	$2/5 = 0,4$	$1 2/3 / 3 2/3 = 0,45$
Miljöhänsyn	$2/11 = 0,18$	$1/2/2,3 = 0,38$	$1/5 = 0,2$	$2/3 / 3 2/3 = 0,18$
Bekvämlighet	$3/11 = 0,27$	$0,6/2,3 = 0,26$	$1,5/5 = 0,3$	$1/ 3 2/3 = 0,27$

$$\text{Kostnad: } \frac{0,09 + 0,09 + 0,1 + 0,09}{4} = 0,09$$

$$\text{Tid: } \frac{0,45 + 0,43 + 0,40 + 0,45}{4} = 0,43$$

$$\text{Miljöhänsyn: } \frac{0,18 + 0,38 + 0,20 + 0,18}{4} = 0,24$$

$$\text{Bekvämlighet: } \frac{0,27 + 0,26 + 0,30 + 0,27}{4} = 0,27$$

En jämförelse görs sedan mellan de olika alternativen med avseende på de olika kriterierna (se matris 3).

Matris 3: Prioritering av varje alternativ:

<i>Kostnad</i>	Bil	Buss och cykel	Tåg och buss	Prioritering (geometrisk metod)
Bil	1	1/3	1/2	$(1*1/3*1/2)^{1/3} = 0,55 \rightarrow 0,16$
Buss och cykel	3	1	2	$(3*1*2)^{1/3} = 1,82 \rightarrow 0,54$
Tåg och buss	2	1/2	1	$(2*1/2*1)^{1/3} = 1 \rightarrow 0,30$
<i>Tid</i>				
Bil	1	2	3	$(1*2*3)^{1/3} = 1,82 \rightarrow 0,61$
Buss och cykel	1/2	1	1/3	$(1/2*1*1/3)^{1/3} = 0,17 \rightarrow 0,06$
Tåg och buss	1/3	3	1	$(1/3*3*1)^{1/3} = 1 \rightarrow 0,33$
<i>Miljöhänsyn</i>				
Bil	1	1/4	1/4	$(1*1/4*1/4)^{1/3} = 0,40 \rightarrow 0,11$
Buss och cykel	4	1	1	$(4*1*1)^{1/3} = 1,59 \rightarrow 0,44$
Tåg och buss	4	1	1	$(4*1*1)^{1/3} = 1,59 \rightarrow 0,44$
<i>Bekvämlighet</i>				
Bil	1	2	4/3	$(1*2*4/3)^{1/3} = 1,39 \rightarrow 0,45$
Buss och cykel	0,5	1	0,75	$(0,5*1*0,75)^{1/3} = 0,72 \rightarrow 0,23$
Tåg och buss	0,75	4/3	1	$(0,75*4/3*1)^{1/3} = 1 \rightarrow 0,32$

Det är därmed möjligt att sätta in prioriteringarna i en matris (matris 4) och genom att multiplicera denna med de relativa prioriteringarna av kriterierna (matris 5) får man reda på hur väl de olika alternativen tillfredsställer beslutsfattaren med avseende på de kriterier som ställts upp.

Matris 4

	Kostnad	Tid	Miljö- hänsyn	Bekvämlighet
Bil	0,16	0,61	0,11	0,45
Buss och cykel	0,54	0,06	0,44	0,23
Tåg och buss	0,30	0,33	0,44	0,32

Matris 5

0,09
0,43
0,24
0,27

Detta innebär för:

Bil: 0,42

Buss och cykel: 0,24

Tåg och buss: 0,36

I enlighet med de värderingar beslutsfattaren fastställt är det nu tydligt att denne bör köra bil mellan Lund och Malmö (alternativet med det högsta värdet).

Bilaga 3 Översikt över verktyg för bedömning av olika alternativ i en beslutsprocess

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Accident Investigation										
Analytical Hierarchy Process										
Animal Research										
Bayesian Probability Methods										
Bioassay										
Biological Monitoring										
Borda Count										
Bright Lines										
Case-Control Studies										
Classical Probability Methods										
Confidence Interval										
Consequence Model										
Contingent Ranking										
Contingent Valuation										
Controlled Human Exposures										
Cost-Benefit Analysis										
Cost-Effectiveness Analysis										
Crash Simulations										
Decision Analysis										
Decision Trees										
Discharge Models										
Dose-Response Model										
Dynamic Models										
Econometric Models										
Ecosystem Monitoring										
Engineering Models										
Environmental Impact Assessment										
Epidemiological Studies										
Event Trees										
Expected Net Present Value										
Expected Utility										
Expected Value										
Expert Systems										
Exponential Distribution										
Exposure Route Models										
Exposure Tests										
Extrapolation Methods										
Fatal Accident Rate										
Fate Models										
Fault-Trees										
Field Tests										
Fixed Site Monitors										
Gaussian Plume Model										
Geographic Information Systems										
Harvest Models										
Hazard Assessment										
Hazard Index										
Health Surveillance										
Hypothesis Testing										
Index of Biotic Integrity										
Individual Risk										
Influence Diagrams										
Integer Programs										
Integrated Assessment										
Laboratory Exposure Tests										
Life Cycle Assessment										
Lifetime Average Daily Dose										
Linear Programs										
Maximum Daily Dose										
Mental Movies										
Microcosms										
Moment Estimation Methods										
Monte Carlo Simulation										
Multiattribute Trade-off Analysis										
Multiattribute Utility Analysis										
Multihit Model										
Multistage Model										
Named Probability Distributions										
Networks										
Objectives Hierarchies										
Opportunity Costs										
Performance Measures										
Performance Testing										
Personal Exposure Monitors										
Pollutant Transport And Fate Models										
Pollution-Response Models										
Population Models										
Population Risk										
Probabilistic Risk Assessment										
Probability Encoding										
Prospective or "Cohort" Studies										
Queuing Models										
Reconstruction Of Surviving Parts										
Regression Analysis										
Remote Sensing										
Risk Assessment										
Risk Communication										
Risk Comparisons										
Risk Indices										
Risk Source Monitoring										
Satisficing vs. Optimizing										
Screening Tools										
Sensitivity Analyses										
Single-Value Analysis										
Simple Multi-attribute Rating Technique										
Social Choice Theory										
Socioeconomic Impact Assessment										
Spatial Decision Support Systems										
Strategy Tables										
Structured Voting										
Tolerance Distribution Model										
Utility Cancer Risk										
Utility Function										
Value Model										
Value of Information										
"Value of Life"										
Variance										
Water-Resource Models										
Weighted Scoring Methods										
Willingness-to-Pay										

Key: Primarily used for:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Problem definition	Assessing health or environmental risks	Assessing other risks	Determining whether action is needed	Collecting information	Screening alternatives	Identifying alternatives	Evaluating alternatives	Selecting options	Communicating decisions

Figur B3.1 Översikt över verktyg för bedömning av olika alternativ i en beslutsprocess

Källa: Merkhoffer (1999)

Anmärkning: Ifylld ruta markerar att verktyget är användbart för ifrågavarande del i beslutsprocessen.

Bilaga 4 Matris över två integrationsdimensioner

		<u>Metoder/modeller eller andra verktyg</u>			
<u>Riskutsatta samhälls- och funktionsområden</u>	A. Objektsbetonad riskanalys	B. Sårbarhetsanalys	C. Spridningsmodeller	D. Operationell riskhantering	E. Beslutsmetoder (GIS, MCA och SDSS m fl)
1. Teknisk försörjning och infrastruktur	┌	-----	-----	-----	-----
2. Transporter och transportanläggningar	├				
3. Livsmedelsförsörjning	├				
4. Hantering av farliga ämnen	├				
5. Sjukvård och omsorg	├				
6. Beslut- och utvecklingscentra	├				
7. Bebyggelsestruktur	├				
8. Grönstruktur och naturmiljö	├				
9. Kulturmiljö	├				
10. Näringsstruktur	├				
11. Sociala och kulturella förhållanden	└				
12. Mark och byggnader	└				

*Integrationsdimension 1**Integrationsdimension 2*

Bilaga 5 Översikt över några spridningsmodeller

Nedan ges en översikt över ett antal spridningsmodeller som hjälper till att beräkna risker från fasta anläggningar till följd av olyckor eller kontinuerlig drift.

IRIS – Integrated Risk Information System är ett identifikationssystem för olika faror och innehåller information om kroniska hälsorisker för över 500 kemiska substanser och dos-respons förhållanden (EPA, <http://www.epa.gov> 1999).

GRIBS – integrerar olika databaser och tar fram information för anläggningar som handhar farliga kemikalier. Syftet är att vara en del av det allmänna riskinformationssystemet. Informationen baseras i huvudsak på kvalitativa klassificeringar av de farliga ämnena (Fedra 1998).

AirPEX, Air Pollution Exposure, (Freijer m fl 1998) är en modell som bedömer människors exponering av luftföroreningar genom inandning. Modellen kvantifierar exponering av individer och populationer genom att använda data över luftkvalitetens variationer i tid och rum och aktivitetsmönster. Att se till aktivitetsmönster har visat sig vara mycket betydelsefullt för att göra en korrekt bedömning. En viktig komponent är möjligheten att samtidigt analysera sociodemografiska förhållanden. Detta gör att det går att se vilka grupper som är mer utsatta än andra.

SOCRATES, Safety Optimisation and Risk Assessment Tools for Emergency and Safety,– är ett datorprogram för att kvantifiera risker från olyckor som härstammar från giftiga eller antändningsbara ämnen (Papazoglou 1998). Det utvecklar en integrerad metodologi för att analysera risker från en eller flera industrier som handskas med farliga ämnen. Meningen är att utveckla beslutsmässiga ramverk för fysisk planering i en region och insatsplaner som kan användas av lokala och regionala räddningstjänsten.

Inter-Clair är exempel på en ”universalmodell” som kan appliceras på en mängd olika föroreningstyper och spridningsmönster. Den är anpassad för ytor à 400 x 400 km och har använts i en mängd olika sammanhang (Gheorghe 1995).

Inom ett EU-finansierat projekt, RESTORE, utvecklas ett GIS-baserat system, EDSS (Perk m fl 1996). Dess ändamål är att undersöka den tidsrumsliga variationen av radiocaesium i jordmassor i Ryssland, Vitryssland och Ukraina. Ett GIS-program i kombination med dynamiska modelleringsverktyg som genomför geostatiska analyser och tillstånds- och topologiska simuleringar håller i samband härmed på att utvecklas.

Försök görs att uppmärksamma regioners unika karaktär i utsläppssammanhang. De internationella överenskommelser som gjorts för att minska luftföroreningar har ofta resulterat i fasta procentsatser för landet som helhet utan att hänsyn tagits till att känsligheten hos ekosystemen över hela Europa varierar. Lowles m fl (1998) föreslår istället att man selektivt reducerar utsläppen regionalt. Detta sker genom en integrerad analysmodell som använder sig av kartor som visar kritisk belastning, markanvändning och befolkningsdata för att identifiera de ekosystem och människor som är mest utsatta för luftföroreningar. Lowles anser att metoden med stor framgång kan användas analogt även för andra miljömässiga problem än luftföroreningar. Den dynamiska aspekten är stor om modellen dessutom kopplas till ett GIS-system.

HEGIS, Health and Environment Geographic Information System, (Kuchuk m fl 1998) är ett verktyg för att identifiera ”hot spots” vad beträffar miljömässig degradering och/eller dålig

hälsa. HEGIS har två huvudmål: 1. Geografisk miljömässig övervakning och hälsoövervakning 2. Bedömning och hantering av de mest kända hälsoriskerna och miljömässiga farorna. De ”heta” områden som framträder på en karta kan t ex vara ett mortalitetsmönster. Applikationen arbetar med två sorters indikatorer; hälsorelaterade miljöindikatorer och miljörelaterade hälsoindikatorer. De förra är definierbara miljömässiga villkor som pekar på potentiellt skadliga hälsoeffekter medan de senare redogör för hälsoyttringar som indikerar en miljömässig orsak.

I Holland har försök gjorts med att utifrån flera utsläppskällor beräkna den individuella risken en person löper då hon exponeras för miljömässiga föroreningar i ett fiktivt rutnät (Pruppers m fl 1996). Risken beräknades utifrån flera aspekter som politiker valt att skydda invånarna ifrån såsom mortalitet och sjukdomsuppkomst. En slutsats var att risken från stora olyckor och att utsättas för oväsen var störst på det lokala planet medan risker till följd av strålning och ämnen var mer spridd. Den kollektiva risken kunde härledas ur den individuella risken. Vad som återstår av detta arbete är att samla alla riskerna i en karta och att utveckla en viktningmetod.

PHAST, Process Hazard Analysis Software Tools, är ett program utvecklat av *Det Norske Veritas* och som modellerar konsekvenserna av olycksmässiga utsläpp skadliga ämnen. Den integrerar flera olika spridningsmodeller för att täcka in hela spektrat av spridningen i olika stadier och förutsättningar. PHAST kan användas i flera situationer inom process- och kemiska industrisektorn, bl a för att identifiera förhållanden som innebär risker mot liv, egendom och miljö (DNV, <http://www.dnv.com> 2000-02-12).

SAFETI, Software for the Assessment of Flammable, Explosive and Toxic Impact, också utvecklat av *Det Norske Veritas*, är ett kvantitativt riskanalysverktyg för att beräkna risker där skadliga kemikalier är involverade. SAFETI använder sig av PHAST för att förutsäga konsekvenserna av utsläppen. Resultatet kan presenteras grafiskt i form av riskkonturer, FN-kurvor och rangordning av risker vid bestämda geografiska lägen (DNV, <http://www.dnv.com> 2000-02-12).

HITERM är ett projekt inom Eu-programmet ESPRIT's High-Performance and Networking, Decision Support Applications. Med hjälp av kraftfulla datorer och arbetsstationer försöker man uppnå lösningar på komplexa simuleringar av olycksutsläpp av farliga ämnen i olika medier i en hastighet som är bättre än realtid. Målet är att bygga upp ett interaktivt beslutssystem för akut planering och hantering.

Referenser

Tryckta källor

- Abrahamsson M & Magnusson S E** (1999): *Treatment of uncertainties in quantitative risk analysis*. Paper submitted for the ESREL/SRA conference in Edinburgh May 15-17 2000. Department of Fire Safety Engineering, Lund University
- Apostolakis G E** (red) (1998): *Reliability Engineering & System Safety*. Vol 59
- Assies J A** (1998): The use of mapping techniques in an ecological risk assessment of sites contaminated with chemical warfare agents. *International Journal of Hazardous Materials*. Vol 61. Sid 23-30.
- Bengtsson M, Carlson R, Molander S & Steen B** (1998): An approach for handling geographical information in life cycle assessment using a relational database. *International Journal of Hazardous Materials*. Vol 61. Sid 67-76.
- Berglund B** (red) (1994): *Den oslagbara staden*. Överstyrelsen för civil beredskap, Stockholm
- Berglund B** (red) (1995): *Grannskapet i Den oslagbara staden*. Överstyrelsen för civil beredskap, Stockholm
- Berglund B** (red) (1997): *Robust samhälle – forskning och praktisk verklighet*. Överstyrelsen för civil beredskap, Stockholm
- Berglund B** (red) (1998): *Robusthet i den fysiska miljön*. Överstyrelsen för civil beredskap, Stockholm
- Bergström S, Eriksson B, Johansson L och Nilsson J** (1998): *Robusta bostadsområden och grannskap - Nyckeltal för drift och planering*. FOA-rapport 1998, ISSN 1104-9154, Försvarets Forskningsanstalt, avdelningen för försvarsanalys, Stockholm
- Bernhardsen T** (1992): *Geographic Information Systems*. VIAK IT, Arendal
- Beroggi G & Wallace W** (1998): *Operational Risk Management - The Integration of Decision, Communications, and Multimedia Technologies*. Kluwer Academic Publishers, Boston – Dordrecht – London.
- Beroggi G** (1996): Advanced information and communication technologies in regional safety management. *International Journal of Environment and Pollution* vol 6 Nos 4-6. sid 349-361.
- Carver** (1999): Developing Web-based GIS/MCE: Improving Access to Data and Spatial Decision Support Tools. I Thill J-C (red): *Spatial Multicriteria Decision Making and Analysis*. Ashgate Publishing Ltd, Hants
- Center for Chemical Process safety of the American Institute of Chemical Engineers, CCPS** (1989): *Guidelines for chemical process quantitative risk analysis*. American Institute of Chemical Engineers, New York
- Cothorn R** (1993): *Comparative risk assessment*. Lewis Publishers, Boca Raton
- Cox S J & Tait N R S** (1991): *Reliability, safety, and risk management : an integrated approach*. Oxford, Butterworth-Heinemann
- Dale V & English M** (ed) (1999): *Environmental Decision Making*. Springer-Verlag Inc New York
- Davidsson G** (1999): *Databaser om olyckor och olycksrisker*. Räddningsverket Karlstad
- Davidsson G, Lindgren M & Mett L** (1997): *Värdering av risk..* Räddningsverket, Karlstad
- DNV** (1995): *Riskreduksjon i industrien – exemplar på praktiske tiltak*, Rapport Nr 95-3259 Det Norske Veritas Industry AS

Egidi D, Foraboschi F P, Spadoni G & Amendola A (1995): The ARIPAR project: analysis of the major accident risks connected with industrial and transportation activities in the Ravenna area. *Reliability Engineering and System Safety* 49 sid 75 - 89 Elsevier Science Ltd, Northern Ireland

Einarsson S (1999): Comparison of QRA and Vulnerability Analysis: Does Analysis Lead to More Robust and Resilient Systems? I *Acta Polytechnica Scandinavica Civil engineering and building construction series* no. 114, Espoo, Finland

Einarsson S & Rausand M (1998): An Approach to Vulnerability Analysis of Complex Industrial Systems. *Risk Analysis*, Vol 18 No 5 1998. Society for Risk Analysis

Enander A & Fredholm L (1996): I Enander A & jakobsen L (red): *Forskningsrapport ÖCB - Risk och hot i den svenska vardagen: allt ifrån Tjernobyl till skuren sås*. Överstyrelsen för civil beredskap, Stockholm.

Fedra K (1998): Integrated risk assessment and management. Overview and state of the art. I *Journal of Hazardous Materials* Vol 61. Sid 5-22.

Frantzych H (2000): *Brandskyddsindex för vårdanläggning, ett verktyg för riskanalys*. Räddningsverket, Karlstad

Freijer J I, Bloemen H J Th, de Loos S, Marra M, Rombout P J A, Steentjes G M, van Veen M P (1998): Modelling exposure of the Dutch population to air pollution. I *Journal of Hazardous Materials* vol 61. Sid 107-114.

Försvarets Forskningsanstalt (1997): *Vådautsläpp av brandfarliga och giftiga gaser och vätskor - metoder för bedömning av risker*. FOA-R-9700490-990-SE Avdelningen för vapen och skydd, Tumba Avdelningen för NBC-skydd, Umeå

Gheorghe A & Nicolet Monnier M (1995 A): *Integrated Regional Risk Assessment, vol 1* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht

Gheorghe A & Nicolet Monnier M (1995 B): *Integrated Regional Risk Assessment, vol 2* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht

Gheorghe A & Vamanu D (1997): *KOVERS Working-papers No 2, 3 och 4 - Decision Support Software - Tools For Integrated Risk Assessment of Hazardous Substances In Complex Terrain*, ETH Zentrum, Zürich

Gheorghe A V (1996 A): Dealing with technical risks in a region. I *International Journal of Environment and Pollution* vol 6 Nos 4-6. Sid 349-361.

Gheorghe A V (1996 B): The role of risk assessment in obtaining technical information for emergency preparedness and planning due to major industrial accidents: view from a UN international project. I *International Journal of Environment and Pollution* vol 6 Nos 4-6. Sid 349-361.

Gheorghe A V, Kogelschatz D, Fenner K, Engel M, Harder A, Kröger W & Vamanu DV (1999): Integrated risk assessment transportation dangerous goods: introducing hot spots concept as a solution. I (red) Schueller & Kafka *Safety and Reliability*,. Sid 1255-1261. Balkema, rotterdam.

Hamilton G (1996): *RiskManagement 2000*. Studentlitteratur, Lund

Harrami O, Kylefors M & Magnusson S E (1999 A): *Quality and quantity assurance of risk assurance of risk analysis - implications from a Swedish interview study*. Departement of Fire Safety Engineering, Lund University. Swedish Rescue Service Agency, Karlstad. Rescue Service College Revinge, S Sandby

Harrami O, Kylefors M & Magnusson S E (1999 B): *Risk Analysis in practice - results from a swedish interview study*. Departement of Fire Safety Engineering, Lund University. Swedish Rescue Service Agency, Karlstad. Rescue Service College Revinge, S Sandby

- IAEA, UNEP, UNIDO, WHO** (1998): *Guidelines for integrated risk assessment and management in large industrial areas*. Inter-Agency Programme on the Assessment and Management of Health and Environmental Risks from Energy and Other Complex Industrial Systems. International Atomic Energy Agency, Wien.
- International Electrotechnical Commission, IEC**, (1995-12): *International Standard - Dependability management part 3: application guide - section 9 Risk Analysis of technological systems*
- Jakobsen L** (1997): Nordiska sociologförbundets konferens - *Vardagsförståelse av risk och säkerhet i skilda livsformer*, Köpenhamn juni 1997
- Johansson A** (1996): *Riskhantering med stöd av GIS – erfarenheter från Kronobergs län*. Statens räddningsverk, Risk- och miljöavdelningen, Karlstad
- Kaplan S** (1997): The Words of Risk Analysis. *Risk Analysis* Vol 17, No 4 1997. Society for Risk Analysis.
- Karlsson B & Larsson D** (1999): *Risk Assessment of Timber Framed Multistorey Apartment Buildings using a Risk Index Method*. Department of Fire Safety Engineering, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet.
- Kasperson R E, Renn O, Slovic P, Brown H, Emel J, Goble R, kasperson J & Ratick S** (1988): The Social Amplification of Risk: A Conceptual Framework. *Risk Analysis*, vol 8, no 2, sid 177-187.
- Kemikontoret** (1996): *Administrativ SHM-revision - ett administrativt hjälpmedel för intern granskning av säkerhet/hälsa/miljö*. AB Industrilitteratur, Stockholm
- Kolluru R (red)** (1996): *Risk Assessment and Management handbook - for environmental, health and safety professionals*. McGraw-Hill Inc New York
- Kuchuk A, Krzyzanowski M & Huysmans K** (1998): The application of WHO's Health and Environment Geographic Information Systems (HEGIS) in mapping environmental health risks for the European region. I *International Journal of Hazardous Materials* vol 61. Sid 287-290.
- Lantmäteriet** (1999): *Riskdata*. Arbetsmaterial.
- Lidskog R, Sandstedt E och Sundqvist G** (1997): *Samhälle, risk och miljö* Studentlitteratur, Lund
- Llewellyn G** (1998): Strategic Risk Assessment - Prioritising environmental protection. I *International Journal of Hazardous Materials* vol 61. sid 279-286.
- Lowles** (1998): Integrated assessment models - tools for developing emission abatement strategies for the black triangle region. I *International Journal of Hazardous Materials* vol 61. Sid 229-238.
- Magnusson S E & Rantatalo T** (1998): *Risk Assessment of timberframe Multistorey Apartment Buildings. Proposals for a Comprehensive Fire Safety Evaluation Procedure* Institutionen för brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet, Lund
- Magnusson S E, Göransson P, Petersen K, Malmen Y, Hovden J, Harms-Ringdahl L & Akselsson R** (1999): *Co-operative Nordic Risk Research*. Report 1001, LUCRAM, Lund University Centre of Risk Analysis and Management, Lund.
- Malczewski J** (1999): Spatial Multicriteria Decision Analysis. I Thill J-C (red): *Spatial Multicriteria Decision Making and Analysis*. Ashgate Publishing Ltd, Hants.
- Malmnäs P-E** (1995): *Methods of Evaluations in Supersoft Decision Theory*, rapport HSFR F 222/90 Filosofiska institutionen SU.
- Mattson M** (1997): *Kostnad-Nytta av Industrins Brandskyddsåtgärder Brandteknik*, Lunds Tekniska Högskola, Lund

- Merkhoffer M W** (1999): Assessment, Refinement and Narrowing of Options. I Dale V H & English M R: *Tools To Aid Environmental Decision Making*. Springer-Verlag, New York.
- Morgan M G & Henrion M** (1990): *Uncertainty - A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*. Cambridge University Press.
- Newman P J** (1992): Surface Water Quality Indicators. I Colombo A G (red): *Environmental Impact Assessment*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Nicolet-Monnier M** (1996): Integrated Regional Risk Assessment. The situation in Switzerland. I *International Journal of Environment and Pollution* vol 6 Nos 4-6. sid 440-462.
- Nijkamp P, Rietveld P & Voogd H** (1990): *Multicriteria Evaluation in physical planning*. Elsevier Science Publishers B.V Amsterdam
- Olsson F** (1999): *Risikanalysetoder*. Brandteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet.
- Osleeb J P & Kahn S** (1999): Integration of Geographic Information. I (red) Dale V H & English M R. *Tools to Aid Environmental Decision Making*. Springer-Verlag, New York.
- Otway H J & Von Winterfeldt, D** (1982): Beyond acceptable risk: on the social acceptability of technologies. *Policy sciences* 14 sid 247-256.
- Papazoglou I A, Aneziris O, Bonanos G och Christou M** (1996): SOCRATES: a computerized toolkit for quantification of the risk from accidental releases of toxic and/or flammable substances. I *International Journal of Environment and Pollution* vol 6. sid 349-361.
- Paté-Cornell M E** (1996): Uncertainties in Risk Analysis: Six levels of treatment. *Reliability Engineering and System Safety* 54. Elsevier Science Ltd, Northern Ireland.
- Persson K** (1998): *Risikhänsyn i fysisk planering*. Räddningsverket, Karlstad
- Pidgeon N** (1998): Risk assessment, Risk values and the social science programme: why we do need risk perception research. I *Reliability Engineering and System safety* 59 sid 5-15. Elsevier Science Ltd, Northern Ireland.
- Potting J, Schöpp W, Blok K, Hauschild M** (1998): Comparison of the acidifying impact from emissions with different regional origin in life cycle assessment. I *International Journal of Hazardous Materials* vol 61. Sid 155-162.
- Pruppers M J M, Janssen M P M, Ale B J M, Pennders R M J, Van den Hout K D & Miedema H M E** (1998): *Accumulation of environmental risks to human health: geographical differences in the Netherlands*. I *International Journal of Hazardous Materials*. Sid 187-196.
- Renn O** (1998): The role of risk perception for risk management. *Reliability Engineering and System Safety* 59 sid 49-62. Elsevier Science Ltd, Northern Ireland
- Rosa E A** (1998): Metatheoretical foundations for post-normal risk. I *Journal of Risk Research* 1, sid 15-44 (1998)
- Räddningsverket** (1989): *Att skydda och rädda liv, egendom och miljö*. Räddningsverket, Karlstad.
- Saaty, T L** (1988): *Multicriteria Decision Making - The Analytic Hierarchy Process*. EWS Publications. Pittsburgh.
- Simon H** (1960): *The New Science of management Decision*
- Slovic P, Fischhoff B & Lichtenstein S** (1982): Facts and fears: understanding perceived risk. I (red): Schwing R C & Albers W A. *Societal risk assessment: how safe is safe enough*. Plenum press, New York

- Statens räddningsverk** (1996): *Farligt gods – riskbedömning vid transport*. Statens räddningsverk – Risk- och miljöavdelningen, Karlstad
- Strömberg M** (1997): *Riskhantering och fysisk planering*. Räddningsverket, Karlstad
- Sturk R** (1996): *Besluts- och riskanalys samt statistiskt synsätt inom undermarksbyggandet*. SveBeFo Rapport 23, avdelningen för Jord och Bergmekanik, KTH Stockholm
- Suter II G W** (1993): *Ecological Risk Assessment*. Lewis Publishers, Michigan
- Svedung I & Rasmussen J** (1997): *Riskhantering i ett systemperspektiv*. Räddningsverket, Karlstad.
- The Royal Society** (1992): *Risk: Analysis, Perception and Management*. Royal Society, London
- Thill JC (ed)** (1999): *Spatial Multicriteria Decision Making and Analysis – A geographic information sciences approach*, Ashgate Publishing Ltd, Hants, England och Ashgate Publishing Company, Vermont USA.
- van der Perk M, Burrough P A & Voigt G** (1998): GIS-based modelling to identify regions of Ukraine, Belarus and Russia by residues of the Chernobyl nuclear power plant accident. I *Journal of Hazardous Materials* vol 61. Sid 85-90.
- van Leeuwen C J & Hermens J L M** (1995): *Risk Assessment of Chemicals: An Introduction*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Wirén E** (1998): *Planering för säkerhets skull*. Studentlitteratur, Lund
- Voogd H** (1983): *Multicriteria Evaluation for urban and regional planning*. Pion Ltd, London
- Wärneryd O, Hallin P-O & Hultman J** (1995): *Den krypande deponeringskrisen*. Studentlitteratur, Lund
- Yoon K P & Hwang C-L** (1995): *Multiple Attribute Decision Making*. Sage Publications Thousands Oaks, London, New Delhi.

Internet

- American Chemical Society, ACS** (1999-08-14): *Understanding Risk Analysis*. A short guide for health, safety, and environmental policy making. [Http://www.cas.org](http://www.cas.org)
- Corrêa A, Peyton R L, Loehr J E**, University of Missouri-Columbia (1999-11-14) <http://www.gfz-potsdam.de/ewc98/abstract/correa.html>.
- Boverket** (2000-02-27) <http://www.boverket.se/bygg/risbrand.htm>
- Colorado State University** (1999-10-14) <http://www.ciesin.colostate.edu/argis/>
- Colorado State University** (2000-02-18) <http://www.ids.colostate.edu/projects/ipdss.html>
- Det norske veritas** (2000-02-12) <http://www.dnv.com>
- Direktoratet for sivil beredskap** <http://www.dsb.no> 1999-12-23
- Direktoratet for sivil beredskap** (2000-02-22) http://www.dsb.no/nivaa_tre_english/vulnerability_analyses_and-super.htm
- Environmental Protection Agency, EPA** (1999-06-03): *Risk Assessment*. <http://www.epa.gov/oiamount/tips/risktip.htm>
- Environmental Protection Agency** (1999-10-12) <http://www.epa.gov/oiamount/tips/risktip.htm>

Environmental Software and Services GmbH (1999-08-16) <http://www.ess.co.at/>

Federal Emergency Management Agency (2000-01-15) <http://www.fema.gov>

Försvarets forskningsanstalt, FOA (2000-02-09) <http://www.foa.se>

Försvarets forskningsanstalt, FOA (2000-02-09) <http://www.risknet.foa.se/about1.htm>

Försvårshögskolan (2000-03-02) <http://130.244.126.171/fhs/forsk/index.html>

<http://blaze.trentu.ca/~ermlc/proposal.htm>. (1999-10-13)

Leitner H, McMaster R, Miller R, & Sheppard E, Department of Geography, University of Minnesota (1999-08-13) <http://www.geo.wvu.edu/i19/papers/leitner.html>

Lunds universitet, Institutionen för kulturgeografi och ekonomisk geografi (2000-03-14) <http://www1.ldc.lu.se/kulekgeo/forska/projekt/sarbara.htm>

Miljöförvaltningen Malmö kommun (1999-12-15) <http://www.miljo.malmo.se/mark.htm>

National institute of public health and the environment (1999-09-17) <http://www.rivm.nl/sector5/lae/index.html>.

National institute of public health and the environment (1999-10-03) <http://www.rivm.nl/csr/risk.html>.

Naturvårdsverket (1999-01-13) <http://www.environ.se/dokument/lagar/bedgrund/foromr/foromr-.html>

Norges forskningsråd (2000-02-22) <http://www.forskningsradet.no/bibliotek/forskning/199704/1997041001.html>

Oceansconservation (1999-10-13) <http://www.oceansconservation.com/iczm/canessa2.htm>.

Räddningsverket (2000-02-09) <http://www.srv.se>

SCB & Lantmäteriet (1999): *Swedefacts*. <Http://www.swedefacts.com>

Svenska kommunförbundet (2000-05-02) <http://www.svekom.se/skydd/saktrygg.htm>

swedefacts (1999-10-06) <http://www.swedefacts.com>.

Swedish National Space Board (1999-10-11) <http://nos.snsb.se/FAK/jordobs.html>.

Umeå universitet - Safari (2000-03-02) <http://info.adm.umu.se/SAFARI/>

University of Leeds, Centre for Computational Geography (2000-03-01) <http://www.ccg.leeds.ac.uk/mce/mce-intro.htm>

Uppsala universitet, sociologiska institutionen (2000-03-02) <http://mail.soc.uu.se/research/presentation.html>

Överstyrelsen för civil beredskap (1999-07-16, 2000-01-18, 2000-02-27) <http://www.ocb.se>.